COHABITAT
BIBLIOTEKA DESIGN / BUILD

GERNOT MINKE

Podręcznik budowania Z KOSTEK SŁOMY

PODSTAWY • KONSTRUKCJE • PRZYKŁADY

GERNOT MINKE BENJAMIN KRICK

Podręcznik budowania z kostek słomy

PODSTAWY ● KONSTRUKCJE ● PRZYKŁADY

Gernot Minke, Benjamin Krick, Podręcznik budowania z kostek słomy, Łódź, 2015
Podstawa przekładu: *Handbuch Strohballenbau*, wyd. 3 (2014)

Tłumaczenie: Zygmunt Bieliński

Redakcja merytoryczna: Maciej Jagielak – www.osbn.pl
Dodatkowe konsultacje: Paweł Noszczyk (rozdz. 4), Piotr Soboń (rozdz. 6), Katarzyna Rączka-Bilińska (rozdz. 13,14), Ryszard Biliński (rozdz. 13,14), Agata Pilachowska (rozdz. 22.35), Katarzyna Bazarnik
Korekta: Agnieszka Gorońska – www.goronska.pl, Marek Lewandowski, Agata Żyźniewska
Opracowanie graficzne, skład: Weronika Siwiec – www.weronikasiwiec.com, Monika Flakowska – www.mfka.co.uk

Koordynacja projektu: Marcin Lewandowski – http://portfolio.saepia.net

Druk: Drukarnia Offsetowa „Alterna"; zakład Fundacji Źródła Życia – www.fzz.pl

ISBN 978-83-941225-0-8
Wydanie pierwsze.

Copyright © ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 2014
Copyright for the Polish language edition and translation © Fundacja Cohabitat 2014

Originally published in German under the title "Handbuch Strohballenbau" by ökobuch Verlag GmbH, Staufen bei Freiburg/Breisgau.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retreival system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiejkolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi lub towarowymi ich właścicieli.

Autorzy oraz Fundacja Cohabitat dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autorzy oraz Fundacja Cohabitat nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Autorzy zdjęć na okładce i obwolucie: Zuzanna Kierulfová (photo archive Createrra), Gernot Minke, Frederike Fuchs, Architektburo Reinberg.

Ewentualne erraty do niniejszego wydania będą dostępne na stronie www.cohabitat.net

Wydawca:
Fundacja Cohabitat
al. Józefa Piłsudskiego 135
92-318 Łódź
KRS 0000428459
e-mail: biuro@cohabitat.net
www.cohabitat.net

Wydrukowano w Polsce/Printed in Poland.

Złożono krojem Lato.

LISTA HONOROWYCH WYDAWCÓW PIERWSZEJ EDYCJI KSIĄŻKI

Adam Borys, Adam Drabent, Adam Korach, Adam Makarewicz, Adam Mizera, Adam Piskorek, Adam Reizer, Adam Rybakiewicz, Adam Skiba, Adam Skrobisz, Adam Waniewski, Adam Zdanuczyk, Adam Żarski, Adrian Chmura, Adrian Kochman, Adrian Sachaj, Adrian Wójcik, Adriana Czerwińska, Adriana Hojka, Adriana Kuś, Agata Augustynik, Agata Boduch, Agata Jasińska, Agata Kukułowicz, Agata Siwek, Agata Stefanicka, Agata Suchanek, Agata Swoboda, Agata Twardowska, Agnieszka Antosiewicz, Agnieszka Bucka, Agnieszka Cajgner-Olędzka, Agnieszka Chrzanowska, Agnieszka Defus, Agnieszka Gaczkowska, Agnieszka Grzegorczyk, Agnieszka Kłoczko, Agnieszka Kmiotek, Agnieszka Lewalska, Agnieszka Loza, Agnieszka M. Sikorska, Agnieszka Maruszczyk, Agnieszka Oślak, Agnieszka Prześniak, Agnieszka Rokitowska, Agnieszka Rousseau, Agnieszka Seredyńska, Agnieszka Soboń, Agnieszka Wieliczko, Agnieszka Wierzbicka, Agnieszka Winiarska-Roman, Agnieszka Wiśniewska, Albert Zdancewicz, Aleksander Bonar, Aleksander Hońca, Aleksander Obolewicz, Aleksander Sałagacki, Aleksander Zdunek, Aleksandra Bruska, Aleksandra Chodakowska-Malkiewicz, Aleksandra Dębniak, Aleksandra Góreczna, Aleksandra i Piotr Januszewscy, Aleksandra Kostyra, Aleksandra Kundycka, Aleksandra Marchlewska, Aleksandra Niewada-Wysocka, Aleksandra Płaczek, Aleksandra Rybak, Aleksandra Urszula Kołodziej, Aleksandra Wach-Guzdek, Aleksandra Zalewa, Alicja Bytnar, Alicja Hławka, Alicja Kasper, Alicja Karaś, Alicja Piórko, Alina Sarniak, Amadeusz Kucharzewski, Andrzej Andrzejewski, Andrzej Bednorz, Andrzej Kazimierczak, Andrzej Kulpa, Andrzej Laskowski, Andrzej Lewandowski, Andrzej Novák-Zempliński, Andrzej Różycki, Andrzej Sichma, Andrzej Smal, Andrzej Sojka, Andrzej Sztukowski, Andrzej Tomajczyk, Andrzej Winnicki, Andrzej Wróblewski, Andrzej Żmuda-Trzebiatowski, Aneta Bura, Aneta Korzonek, Aneta Molska, Aneta Zapart, Angelika Stangreciak, Anita Pisarczyk, Anna Adamska, Anna Bottazzoli, Anna Chodnikiewicz-Gołąb, Anna Cygan, Anna Grusza, Anna Jasińska, Anna Józefowska, Anna Khan, Anna Kortus-Kolasa i Michał Kolasa, Anna Malinowska, Anna Nerko, Anna Nowak, Anna Pawłowska, Anna Przybylska, Anna Rakoczy, Anna Rożańska, Anna Rugor, Anna Sakowska, Anna Sikorska-Bednarek, Anna Skowron, Anna Stańczuk, Anna Stós, Anna Surdyk, Anna Śledzińska, Anna Witała, Anna Witkowska, Anna Woźniak, Anna Wrona, Anna Zięcik, Anna Żuchniewicz, Antoni Surowiak, Apolinary Żuchowicz, Archon+ Biuro Projektów Jakub Mendel, Arkadiusz Chmielewski, Arkadiusz Chrapusta, Arkadiusz Damiański, Arkadiusz Goliwąs, Arkadiusz Kisielewski, Arkadiusz Kociemba, Arkadiusz Kościółek (cigames), Artur Bętkowski, Artur Cebula, Artur Feldzensztajn, Artur Gackowski, Artur Hasiński, Artur Jończyk, Artur Łoskot, Artur Malinowski, Artur Nowacki, Artur Pałkowski, Artur Piotrowski, Artur Rejdych, Artur Żejmo, Augustyn Kaliniuk, Augustyna Włodarska, Barbara Rapacz, Barbara Świerc, Bartek Jazwinski, Bartłomiej Bałtyka, Bartłomiej Cysewski, Bartłomiej Perz, Bartłomiej Pitura, Bartłomiej Pytka, Bartosz Drążewski, Bartosz Głąb, Bartosz Guz, Bartosz Jankowski, Bartosz Jaskulski, Bartosz Królczyk, Bartosz Kruchlik, Bartosz Kuruc, Bartosz Płazak, Bartosz Wilczak, Beata Grejcz, Beata Grzenia, Beata Kachel, Beata Marczak, Beata Oleksyk, Beata Posłuszna, Beata Sobczak, Beata Turek, Beata Waśko, Benoit Bador, Bernard Sosin, Blazej Lewicki, Bluesoft Piotr Stolarczyk, Błażej Czwojdziński, Bogdan Nowak, Bogumiła Wiśniewska, Bogusław Sobolski, Bogusława Walkiewicz, Borysław Tomczak, Bronisław Witt, Bruno Jedrzejewski, Cecylia Ciechańska, Cyfrowy Mesjasz, Czesław Janik, Dagmara Marchewczyńska, Damian Budziak, Damian Pietrasik, Daniel Bukowski, Daniel Cwalina, Daniel Dec, Daniel Meller, Daniel Wiszowaty, Danuta Gmosińska, Darek Młynek Młynarczyk, Dariusz Dolecki, Dariusz Galas, Dariusz Gasiak, Dariusz Grabowski, Dariusz Kulpa, Dariusz Lech, Dariusz Myszka, Dariusz Wujtewicz, Dariusz Żurek, Dawid Błaszczyński, Dawid Kuziner, Dawid Magiera, Dawid Nowak, Dawid Weigt, Doman Rynkiewicz, Dominik Banach, Dominik Głowacki, Dominik Kowalewski, Dominik Pękalski, Dominika Cyraniak-Gajek, Dominika Jarosz, Dominika Kleczyńska, Dominika Zielinska, Dorota Ciarkowska, Dorota i Łukasz Polok, Dorota Wnęk, Elwira Korbuszewska, Elwira Kowalewska i Michał Bundyra, Elżbieta Bargiel, Elżbieta Hibner, Elżbieta Polanowska, Emilia Grabowska, Emilia Płocińska, Emilian Sadowski, Eryk Grubczak, Eryk Szymczak, Eugeniusz Michalec, Ewa Czap, Ewa Gajewska, Ewa Gościńska, Ewa Heyda, Ewa Knoch, Ewa Kozdraj, Ewa Lipa, Ewa Pokora, Ewa Prentka, Ewa Tarnowska, Ewelina Półgrabska, Faustyna Dunin-Sulgostowska, Filip Kwiatkowski, Filip Leśniak, Filip Nagórny, Filip Osiński, Filip Podwiński, Gabriel Idzikowski, Gabriela Wisniewska-Korre, Gąsowski Kacper, Grażyna Rocławska-Żołądek, Grzegorz Bąk, Grzegorz Berezowski, Grzegorz Biskup, Grzegorz Blaut, Grzegorz Grochowski, Grzegorz Jenczelewski, Grzegorz Kamyk, Grzegorz Korszak, Grzegorz Kosecki, Grzegorz Kuszneruk, Grzegorz Kwiecień, Grzegorz Lichtarski, Grzegorz Majewski, Grzegorz Nowakoski, Grzegorz Osiecki, Grzegorz Ośródka, Grzegorz Pałka, Grzegorz Skura, Grzegorz Staroń, Grzegorz Wysocki, Gyula Gruber, Halina Rzewuska, Hanna Hałka-Wojtasiewicz, Hanna Marszałek, Hanna Mijas, Hanna Sienkiewicz, Honorata Stantejska, Honorata Trocka, Hubert Kubik, Hubert Plewiński, Igor Bokun, Ilona Kubala, Inga Borska, Irena Sobecka, Ireneusz Zmysło, Iwona Czaszka, Iwona i Wojciech Niemiec, Iwona Lubelska, Iwona Sitarz, Iwona Szewczak, Iza Mikulicz, Izabela, Izabela Cicha, Izabela Karczmarczyk, Jacek Bender, Jacek Florkiewicz, Jacek Kalinowski, Jacek Kolanowski, Jacek Kuśmirak-Brudnicki, Jacek Olesiński, Jacek Pielichowski, Jacek Rękosiewicz, Jacek Susło, Jacek Szymkowiak, Jacek Ulowski, Jacek Werbowski, Jagoda Gorloff, Jakub Burkiewicz, Jakub Drohomirecki, Jakub Gołąb, Jakub Jaroński, Jakub Lewandowski, Jakub Marszałek, Jakub Morisson, Jakub Nobis, Jakub Pisarczyk, Jakub Żółtowski, Jan Karolewski, Jan Sajewicz, Janek Dowgiałło, Janina Koszykowska, Janusz Dzień, Janusz Purzycki, Janusz Tyrlik, Jarek Glapski, Jaroslaw Augustynowicz, Jarosław Badźmierowski, Jarosław Janczewski, Jarosław Koziara, Jarosław Ludwisiak, Jarosław Pieczyński, Jarosław Piórkowski, Jeremiasz Misiak, Jerzy Adamczyk, Jerzy Krysiuk, Jerzy Wojtyś, Jędrzej Nowak, Jędrzej Siłakowski, Jędrzej Ziółkowski, Joanna Dziamska, Joanna Gorzkowska, Joanna Krajewska, Joanna Okrasko, Joanna Ozdoba, Joanna Schönborn-Tomczak, Joanna Stanclik, Joanna Szlugaj-Zacharska, Joanna Szymaniec, Joanna Świątek, Joanna Tracz, Joanna Wrońska, Jolanta Singer-Zemła, Jordan Mączkowski, Józef Maciński, Julia Hajdel, Julita Zaborska, Juliusz Humienny, Juliusz Pacho, Justyna Dybała, Justyna Haber, Justyna Kudelska, Justyna Skowyrska, Justyna Skrodzka, Kacper Kornas, Kaja Czaplińska, Adrian Wojtaszek, Kajetan Krztoń, Kamieniecki Dariusz, Kamil Bochenek, Kamil Frankiewicz, Kamil Rybicki, Kamil Salanyk, Kamil Szołtysek, Kamila Kojro, Kamila Ślefarska, Kamiński Andrzej, Karol Baran, Karol Bilecki, Karol Jurczyk, Karol Szymanek, Karolina Kurtz-Orecka, Karolina Piela, Karolina Woźniak, Kasjan Sitko, Katarzyna Bogdańska, Katarzyna Breczko, Katarzyna Chojnacka, Katarzyna Dudek, Katarzyna Górecka, Katarzyna Grochowicz, Katarzyna Grzesik, Katarzyna Janczewska, Katarzyna Jaworska, Katarzyna Karczmarek, Katarzyna Kasyna, Katarzyna Kołodziej, Katarzyna Krempa, Katarzyna Książek, Katarzyna Ksycka, Katarzyna Kwiatkowska, Katarzyna Łaski, Katarzyna Mikulska, Katarzyna Mudlaff, Katarzyna Murawska, Katarzyna Nitschke, Katarzyna Płoska, Katarzyna Radkowiak, Katarzyna Sztybel, Katarzyna Waniek, Katarzyna Zakrzewka-Guć, Kazik Adamski, Kinga Dyk, Kinga Kazanowska-Kuczmarska, Kinga Walczak, Klaudia Bajorek, Konrad Dybek, Konrad Kania, Konrad Michalczewski, Konrad Mielko, Konrad Sachman, Konrad Winnik, Kordian Wilk, Krystian Grzelak, Krystian Potyralski, Krystian Zwoliński, Krystyna Galazka, Krystyna Leonkiewicz, Krystyna Suchan, Krystyna Suchanecka, Krzysztof Babicz, Krzysztof Bartkowiak, Krzysztof Buchwald, Krzysztof Burzmiński, Krzysztof Chudziak, Krzysztof Foit, Krzysztof Francuz, Krzysztof Górski, Krzysztof Hryńków, Krzysztof Jakimowicz, Krzysztof Kendra, Krzysztof Kiszka, Krzysztof Kitlas, Krzysztof Kłapsa, Krzysztof Korzeniowski-Zbroszczyk, Krzysztof Koziorowski, Krzysztof Kroczak, Krzysztof Loks, Krzysztof Łukasiak, Krzysztof Maciejewsi, Krzysztof Matczak, Krzysztof Minge, Krzysztof Mrozowski, Krzysztof Radulski, Krzysztof Stasiak, Krzysztof Szulak, Krzysztof Wojtala, Krzysztof Wojtas, Krzysztof Wroblewski, Krzysztof Zajchowski, Krzysztof Zdebik, Krzysztof Żebrowski, Ksawery Grześka, Kuba Miłkowski, Kuba Serafin, Kwiaciarnia Elżbieta Pioterczak, Lech Rybienik, Leokadia Hekert, Lesław Modelski, Leszek Feist, Leszek Pudlis, Lucjan Głodowski, Lukasz Szmigiel, Łukasz Bujnowski, Łukasz Chłystowski, Łukasz Ćmiel, Łukasz Dubiel, Łukasz Filipow, Łukasz Grudysz, Łukasz Jabłoński, Łukasz Jaworski,

LISTA HONOROWYCH WYDAWCÓW PIERWSZEJ EDYCJI KSIĄŻKI

Łukasz Kapciński, Łukasz Karwowski, Łukasz Komsta, Łukasz Konarski, Łukasz Mrowiński, Łukasz Niemiec, Łukasz Pajor, Łukasz Podlewski, Łukasz Prokop, Łukasz Pruchnicki, Łukasz Stępniak, Łukasz Szymanowicz, Łukasz Wiazowski, Maciej Bobyk, Maciej Dyżewski, Maciej Gontarek, Maciej Hołda, Maciej Jaroszko, Maciej Kotowski, Maciej Kowalski, Maciej Kożuch, Maciej Maruszewicz, Maciej Mrozowski, Maciej Paradowski, Maciej Paris, Maciej Piotrowski, Maciej Racławski, Maciej Rypina, Maciej Smulski, Maciej Stachurski, Maciej Żukowski, Magda Pulwicka, Magdalena Belling, Magdalena Cąkała i Marek Hanke, Magdalena Chustecka, Magdalena Dąbkowska, Magdalena Koczor, Magdalena Kołacz, Magdalena Niedźwiadek, Magdalena Olszewska, Magdalena Sujka, Magdalena Tkaczyk, Maja Chwistek, Maja Rutkowska, Maja Wojdyło, Maja Żyłka, Majka Jankowska, Malgorzata Opiola, Małgorzata Augustyniak, Małgorzata Fortuna, Małgorzata Gniadek-Drozd, Małgorzata Hejmanowska, Małgorzata Jakubiak, Małgorzata Juskowiak, Małgorzata Karpowicz-Żochowska, Małgorzata Kijak, Małgorzata Kospin, Małgorzata Krysiak, Małgorzata Marczewska, Małgorzata Marszałek, Małgorzata Sałacińska, Małgorzata Sieczkowska, Małgorzata Słuszkiewicz, Małgorzata Sodolska Dom Organiczny, Małgorzata Waligóra, Małgorzata Werber, Małgosia Witek, Marcin, Marcin Brozek, Marcin Buła, Marcin Cieliczka, Marcin Domino-Jacek, Marcin Dominów, Marcin Domitrz, Marcin Dremluk, Marcin Durski, Marcin Gramse, Marcin Gwiazdowski, Marcin Kacprzyk, Marcin Kalinowski, Marcin Kamiński, Marcin Konstantynowicz, Marcin Krzeszewski, Marcin Kubicz, Marcin Lipiński, Marcin Machnacz, Marcin Markiewicz, Marcin Rapczyński, Marcin Rosner, Marcin Wachowicz, Marcin Wąsik, Marcin Westfal, Marcin Wojciechowski, Marcin Zimończyk, Mare Taborski, Marek Arcimowicz, Marek Bąk, Marek Dunkel, Marek Ignaczewski, Marek Kamiński, Marek Król, Marek Krzysztof Jasina, Marek Michalik, Marek Peda, Marek Penkala, Marek Sulęcki, Marek Zaleski, Maria Białek, Maria Bucka, Maria Dąbrowska, Maria Muniak, Maria Szymańska, Maria Wanat, Marian Sowiński, Marika Grzelak, Marika Mezger, Mariusz Bichajło, Mariusz Dwórznik, Mariusz Górski, Mariusz Hałuszka, Mariusz Jaworski, Mariusz Kosmalski, Mariusz Krasowski, Mariusz Kustra, Mariusz Mikolajczyk, Mariusz Mol, Mariusz Pankiewicz, Mariusz Sarnicki, Mariusz Swat, Mariusz Urbaniak, Mariusz Wieliczko, Marlena Grochała, Marlena Stolarska, Marlena Wójtkowska, Marta Czarnecka, Marta Fuks, Marta Galbarczyk, Marta Jędrzejczak-Wierzchoś, Marta Kieszkowska, Marta Kosińska, Marta Kownacka, Marta Miłkowska, Marta Naglik, Marta Pastuszak, Marta Pietrzykowska, Marta Tarasewicz, Marta Zgierska, Martyna Krawczyk, Marzena Jamroziewicz, Marzena Matuszczak, Marzena Mazur, Mateusz, Mateusz Ciężyk, Mateusz Hil, Mateusz Jabłoński, Mateusz Machnik, Mateusz Majewski, Mateusz Plichta, Mateusz Skowiński, Mateusz Szwagierczak, Mateusz Wiśniewski, Maya Tomanik, Michael Kapelski, Michal Anuszewski, Michal Rogalski, Michal Smola, Michał Armiński, Michał Bławut, Michał Chwała, Michał Dettmann, Michał Dubla, Michał Giera, Michał Golański, Michał Grzegorczyk (Dziuba), Michał Haraburda, Michał Kaczkowski, Michał Kołodziejczyk, Michał Komorowski, Michał Korbut, Michał Kościak, Michał Lankosz, Michał Machelski, Michał Meresiński, Michał Misiewicz, Michał Morzykowski, Michał Mostowski, Michał Nagórny, Michał Okupny, Michał Pajdosz, Michał Pierzchalski, Michał Pitek, Michał Popis, Michał Puzio, Michał Sady, Michał Sieczka, Michał Sorski, Michał Stańkowski, Michał Strzegocki, Michał Śmigiel, Michał Świerczyna, Michał Tranda, Michał Wanke, Michał Wąsik, Michał Woronowicz, Mieczysława Szczerecka, Mikolaj Podlaszewski, Mikołaj Maciążek, Mikołaj Sławiński, Mikołaj Wower, Miła Skomra, Miłosz Platowski, Miłosz Zagórski, Mirosław Malinowski, Mirosław Mirecki, Mirosław Toczka, Mirosław Widz, Mirosława Bogalecka, Mirosława Przybylska, Monika Cierpiał, Monika Dyndo, Monika K. Budzyńska, Monika K. Daciów-Grabicka, Monika Kubiszewska, Monika Latusek, Monika Lenart-Kozieł, Monika Sierakowska, Motak Michał, Nadulska, Natalia Brejska, Natalia Buczkowska, Natalia Jankowska, Natalia Kopytiuk, Natalia Saługa, Natalia Szczęch, Norbert, Norbert Golec, Norbert Skop, Olga Sawicka-Ripper, Patrycja Czaplińska, Patrycja Rutkowska, Patrycja Sorochtej, Patryk Bodyjański, Patryk Pawlun, Patryk Sejud, Patryk Werbowy, Paulina Bełoniak, Paulina Gobiecka, Paulina Kubas, Paulina Szafrańska, Paulina Szopa, Paulina Tralewska, Paulina Urbańska, Pawel Konior, Paweł Chyła, Paweł Czachor, Paweł Dąbrowski, Paweł Drążewski, Paweł Drozd, Paweł Dubert, Paweł Florczak, Paweł Gajdowski, Paweł Gdaniec, Paweł Godlewski, Paweł Kanikowski, Paweł Kobielus, Paweł Lachowicz, Paweł Mackiewicz, Paweł Maćkowiak, Paweł Muzyka, Paweł Naja, Paweł Obrębowski, Paweł Opach, Paweł Petelczyc, Paweł Pieniężny, Paweł Romanowski, Paweł Ruks, Paweł Spisak, Paweł Stankiewicz, Paweł Szymura, Paweł Warda, Paweł Witkowski, Paweł Włodarczyk, Piotr Antoniak, Piotr Barancewicz, Piotr Bąk, Piotr Bronicki, Piotr Chrząszcz, Piotr Dudek, Piotr Dudzik, Piotr Dziwura, Piotr Falkiewicz, Piotr Gajek, Piotr Gerlach, Piotr i Izabela Wierchowicz, Piotr Jarzyna, Piotr Jastrzębski, Piotr Kalbarczyk, Piotr Karbownik Promens, Piotr Kaszuba, Piotr Kopcisz, Piotr Kosowski, Piotr Kuk, Piotr Ligocki, Piotr Lipowski, Piotr Makała, Piotr Marcinkowski, Piotr Morawski, Piotr Napora, Piotr Nietupski, Piotr Nowak, Piotr Pecura, Piotr Pestrowicz, Piotr Poznański, Piotr Senenko, Piotr Słoka, Piotr Soboń, Piotr Stefański, Piotr Ślusarczyk, Piotr Tyszkiewicz, Piotr Waksmundzki, Piotr Wilk, Piotr Wojciechowski, Piotr Wojtasiak, Piotr Zalewa, Piotr Zydorowicz, Przemyslaw Puziak, Przemyslaw Wesolowski, Przemysław Kieżel, Przemysław Mrozowski, Przemysław Nogaj, Przemysław Prekurat, Przemysław Siuta, Przemysław Wcisło, Radek Witczak, Radosław Bieda, Radosław Kosikowski, Radosław Stephanides, Radosław Szlagowski, Radzisław Trocki, Rafał Bednarski, Rafał Boguszewski, Rafał Charubin, Rafał Denkiewicz, Rafał Fijałkowski, Rafał Górecki, Rafał Jamiołkowski, Rafał Krasowski i Marysia Uszyńska, Rafał Łagosz, Rafał Michałowski, Rafał Nogas, Rafał Nowak, Rafał Orlikowski, Rafał Sadownik, Remigiusz Erkiert, Renata Jankowska, Renata Wilisowska, Renata Wilk Touch Partner sp. z o.o., Robert Antosz, Robert Bojko, Robert G. Król, Robert Gołębiewski, Robert Hajn, Robert Jarzynka, Robert Kaczorowski, Robert Karkowski, Robert Pełka, Robert Pytkowski, Robert Szaj, Robert Wieczorek, Robert Zwierzyński, Robert Żurawski, Roman Gliwa, Roman i Barbara Witkowscy, Roman Kolasa, Roman Tomasiewicz, Roman Wnuk, Ryszard Buczek, Ryszard Gajda, Sabina Mroczkowska, Sara Fudal, Sara Wróblewska, Sebastian Bartkowski, Sebastian Chanas, Sebastian Gomułka, Sebastian Katolik, Sebastian Misiński, Sebastian Sikorski, Sebastian Szarszewski, Sergiusz Teodorczyk, Sławek Konieczny, Sławomir Bagiński, Sławomir Bolek, Sławomir Janucik, Sławomir Michalak, Sławomir Nowak, Sławomir Suchoński, Sławomir Świerkowski, Spółdzielnia Socjalna Ekonova, Spyra Architekci inż. arch. Wojciech Jan Spyra, Stanisław Bielawka, Sylwester Kulpa, Sylwia Kluczyk, Sylwia Michalska, Sylwia Pachucka, Sylwia Rasińska, Szczepan Kwiatkowski, Szymon Bielski, Szymon Gacka, Szymon Kadzielawa, Szymon Kałużyński, Szymon Kiljański, Szymon Krzysztofiak, Szymon Pepliński, Szymon Sarnicki, Szymon Skowyrski, Szymon Staszałek, Szymon Sztwiorok, Szymon Żesławski, Teresa Majewska-Ćwiertnia, Tomasz Antosiak, Tomasz Dluzniewski, Tomasz Doleziłski, Tomasz Gad, Tomasz Gawroński, Tomasz Gratkowski, Tomasz Hinc, Tomasz i Maria Rauch, Tomasz Janko, Tomasz Karczmarzyk, Tomasz Kasztelewicz, Tomasz Kochan, Tomasz Kołodziejski, Tomasz Korytkowski, Tomasz Kucharczyk, Tomasz Latanik, Tomasz Lelewski, Tomasz Lewandowski, Tomasz Madziarski, Tomasz Marcinowski, Tomasz Marczyk, Tomasz Mazurek, Tomasz Mielczyński, Tomasz Mięksiak, Tomasz Musioł, Tomasz Niemiec, Tomasz Nowak, Tomasz Olczyk, Tomasz Opara, Tomasz Pawlik, Tomasz Piwiński, Tomasz Plaskota, Tomasz Pogoda, Tomasz Pydo, Tomasz Stoszewski, Tomasz Strzałkowski, Tomasz Tołłoczko, Tomasz Wierzbicki, Tomasz Wiszowaty, Tomasz Woźniak, Tomasz Zimny, Tomasz Zmyślony, Tomek Szymański, Tulnak Damian Nakielski, Urszula Szczepaniak, Urszula Urazińska, Waldemar Litwiński, Waldemar Młodawski, Waldemar Nowak, Waldemar Rudziecki, Weronika Kami, Wieslaw Zawadzki, Wiesław Bujnowski, Wiesław Grabowski, Wiktor Topczyj, Wilhelm Bąk, Wioletta Matusiak, Witalis Kobus, Witek Raczyński, Witold Pajnowski, Witold Piórkowski, Witold Thiel, Włodzimierz Suski, Wojciech Baniak, Wojciech Buchta, Wojciech Karolewski, Wojciech Koniuszewski, Wojciech Kotliński, Wojciech Mucha, Wojciech Pawlicki, Wojciech Prokop, Wojciech Rączka, Wojciech Rybak, Wojciech Skowron, Wojciech Wasilak, Wojciech Żelazo, Wojtek Lasek, Wojtek Myga, Wojtek Strabel, Xenia Starzyńska, Zbigniew Becker, Zbigniew Dębiński, Zbigniew Lurzyński, Zbigniew Piatkowski, Zbigniew Rymarz, Zdzisław Szydłowski, Zofia Łubocka, Zuzanna Kowal, Zuzanna Lulińska, Zuzanna Rzeźnik

LISTA HONOROWYCH WYDAWCÓW DRUGIEJ EDYCJI KSIĄŻKI

Adam Badylak, Adam Kszczot, Adam Soltysiak, Adam Wrzosek, Adam Wysocki, Adam Ziarkowski, Adrian Samuel, Adriana Wilińska, Adrianna Cygan-Gołąb, Agata Hilt, Agata Kluczewska, Agata Mielczarek, Agata Surma, Agnieszka Gałas, Agnieszka Gęsiorska - Pigan, Agnieszka Ho, Agnieszka I Rafał Pindlowie, Agnieszka Malachowska, Agnieszka Mielczarek, Agnieszka Rudnicka, Agnieszka Spiżewska, Agnieszka Szczesnowicz, Agnieszka Sztajerowska, Agnieszka Szymańska-Konik, Agnieszka Węgrzyn, Alan Zając, Aleksandra Bartyś, Aleksandra Bilinska, Aleksandra Krzyźanowska, Aleksandra Proscewicz, Aleksandra Szczepaniak, Aleksandra Wydra, Aleksandra Zielińska, Alicja Gorzkowska, Alicja Tomczak-Mirecka, Andreas Schwarz, Andrzej Białas, Andrzej Błachut, Andrzej Bryndza, Andrzej Nietubicz, Andrzej Ptak, Andrzej Stachura, Andrzej Tomaszewicz, Andrzej Wichowski, Aneta Mazur Am Project, Aneta Staciwa, Angelika Wróblewska, Anita Kabata, Anna Awdziej, Anna Baturo, Anna Behr, Anna Bełz-Rypalska, Anna Cichocka-Sierocińska, Anna Damasiewicz, Anna Dolińska, Anna Jędrysko, Anna Kochmańska- Bharde, Anna Podlipna, Anna Podsiadło, Anna Siwiec, Anna Suchodół-Majewska, Anna Szymkowiak, Anna Witkiewicz, Antonina Błocka, Arkadiusz Arcisz, Arkadiusz Witer, Artur Balcerek, Artur Bałaban, Artur Botfiński, Artur Gronek, Artur Kowalik, Artur Krużołek, Artur Męczkowski, Artur Mielnik, Artur Psykała, Artur Skarżyński, Asia i Krzysztof Furtas, Barbara Ciach, Barbara Glanowska, Barbara Piotrowska, Bartek Tarchalski, Bartłomiej Turski, Bartłomiej Waluś, Bartosz Adamczyk, Bartosz Bielecki, Bartosz Górnicki, Bartosz Jachym, Bartosz Kolber, Bartosz Kozłowski, Bartosz Kozłowski, Bartosz Laskowski, Bartosz Leczkowski, Bartosz Piotrowski, Bartosz Zawada, Beata Przybylska, Błażej Owczarczyk, Bogdan Merchelski, Bogusław Balicki, Cezary Oberman, Cezary Szproch, Christopher Bulzacki, Dagmara Miłosz, Damian Piwowarski, Daniel Moskwa, Dariusz Ginter, Dariusz Pralat, Dariusz Tymczyszyn, Dawid Chwalba, Dawid Drzewiecki, Dawid Przybylak, Dawid Stakun, Dominik Daszek, Dominik Mlodecki, Dominika Tomaszewska, Dorota Grochulska, Dorota Jamróg, Dorota Jankojć-Poddębniak, Dorota Krakowiak, Dorota Majzer, Dorota Soja, Edyta Gut-Wierchowiec, Edyta Matusiak, Edyta Oruba, Edyta Paździor, Edyta Szymanska, Elijah Kagan, Eliza Biała, Eliza Wielgosz, Elżbieta Schonfeld, Elżbieta Ziomek, Emil Chmielewski, Emil Struczyk, Emilia Bartoszek-Melko, Emilia Szumiło, Ewa Dyszlewicz, Ewa Kawecka, Ewa Merda, Ewa Mzalewska, Ewelina Białoszycka, Ewelina Suchanek, Filip Dąbrowski, Filip Knapczyk, Gniewomir Skrzysiński, Grazyna Sorokin, Grażyna Chyra, Grażyna Kugiel, Grzegorz Czempik, Grzegorz Gorski, Grzegorz Krajewski, Grzegorz Lukaszewski, Grzegorz Ostrowski, Grzegorz Owsiński, Grzegorz Skrok, Grzegorz Sperling, Grzegorz Szymanski, Grzegorz Trembecki, Grzegorz Wojciechowski, Grzegorz Zieliński, Gwidon Cybulski, Halina Kowalska, Henryk Tokarski, Igor Banaszewski, Igor Karwacki, Ilona Olszowy, Inka Ćwiek, Ireneusz Żak, Iwo Mokwa, Izabela Campbell, Jacek Cyboroń, Jacek Hreczański, Jacek Jarosz, Jacek Leśniewski, Jacek Neugebauer, Jacek Piech, Jacek Sanojca, Jacek Skrzypek, Jacek Sokal, Jacek Szostak, Jakub Buchalik, Jakub Buchalik, Jakub Gawłowski, Jakub Gramczyński, Jakub Handke, Jakub Hinc, Jakub Hołubowicz, Jakub Ignaszak, Jakub Kardynał, Jakub Kazmirek, Jakub Malcharczyk, Jakub Olejarczyk, Jakub Stachurski, Jan Wawrynkiewicz, Jan Wyszkowski, Janina Włodek, Janusz Kasprzyk, Janusz Lepionko, Janusz Rzonca, Jarek Tafelski, Jarek Zurek, Jarosław Figaszewski, Jarosław Stadnik, Jarosław Stuczyński, Jerzy Buksiński, Jerzy Grabski, Jędrzej Zielaskowski, Joanna Modrzejewska, Joanna Redzyńska, Joanna Sochaj, Joanna Stańczak, Joanna Stefanska, Joanna Suchomska, Joanna Walczykowska, Joanna Wenska, Joanna Włodarz-Jakubowska, Jolanta Sawka, Jolanta Zimoch, Józef Ojczenasz, Julia Biczysko, Julian Kozankiewicz, Justyna Różycka, Justyna Viehrig, Kacper Kempa, Kacper Saganek, Kamil Farynowski, Kamil Kołsut, Kamila Milewska, Kamila Śnieć, Karol Mąkosa, Karol Romb, Karol Wojciech Kowalski, Karolina Bielak, Karolina Gugała, Karolina Kowarska, Karolina Szczerbak, Karolina Świtek, Karolina Wątroba, Karolina Zamiar, Kasia Czemarmazowicz, Katarzyna Adamska, Katarzyna Bańka, Katarzyna Domańska, Katarzyna Iwanczak, Katarzyna Kochanowicz, Katarzyna Konior, Katarzyna Kruszenko, Katarzyna Łozińska, Katarzyna Nowakowska, Katarzyna Pisańska-Kmiecik, Katarzyna Ronert-Śliwkiewicz, Katarzyna Rosłońska, Katarzyna Snuszka, Katarzyna Sokołowska, Katarzyna Stangrecka, Katarzyna Wanda Jeziorska, Katarzyna Zdeb-Dudała, Katarzyna Zielińska, Kazik Leśniak, Kinga Piotrkowska, Klaudiusz Kozubek, Konrad Dąbrowski, Konrad Dyrcz, Konrad Parusiński, Konrad Reduch, Konrad Szymański, Konrad Zareba, Kosma Stępiński, Krystian Miklasz, Krystian Swojak, Krystyna Lecka, Krystyna Nowakowska, Krystyna Romaniak, Krystyna Stachura-Skierczyńska, Krystyna Stańczak, Krzysztof Kroczak, Krzysztof Lewandowski, Krzysztof Lis, Krzysztof Makowski, Krzysztof Markowski, Krzysztof Misiak, Krzysztof Nowak, Krzysztof Przybyłowicz, Krzysztof Rytka, Krzysztof S. Matejak, Krzysztof Smok, Krzysztof Szendzielorz, Krzysztof Ułamek, Kuba Brzeski, Kufta Krystyna, Lech Ścibor-Rylski, Leszek Bendlewski, Leszek Bochenek, Leszek Borkowski, Logos Polska Sp. Z O.O., Lucyna Till-Modelewska, Ludwik Włodarz, Lukasz Kowalski, Łukasz Bajor, Łukasz Bujak, Łukasz Dyszy, Łukasz Glos, Łukasz Górnicz, Łukasz Górny, Łukasz Gwiazda, Łukasz Harendarz, Łukasz Klimek, Łukasz Kozak, Łukasz Kubista, Łukasz Meina, Łukasz Nowicki, Łukasz Przybysz, Łukasz Samsonowski, Łuksz Buczyński, M.M.M.M. Sikorscy, Maciej Franciszek Kuszewski, Maciej Janecki, Maciej Janik, Maciej Kraszewski, Maciej Lechowicz, Maciej Marks, Maciej Mazur, Maciej Nacfalski, Maciej Sobczak, Magda Golębiewska, Magdalena Kaczmarska, Magdalena Lęcznar, Magdalena Manturo, Magdalena Niścior, Magdalena Okulicz-Kozaryn, Magdalena Rapa, Magdalena Zienkiewicz, Maja Mika, Malgorzata Kaczmarek, Małgorzat M.Chmielecka, Małgorzata Kałuska, Małgorzata Knitter, Małgorzata Michalewicz, Małgorzata Popczyk, Małgorzata Skowronek, Małgorzata Stankiewicz, Małgorzata Sus, Małgorzata Szczybura, Małgorzata Wójtowicz, Małgorzata Zasada, Marcelina Rozmus, Marcin Baszak, Marcin Bąk, Marcin Dembowski, Marcin Derewońko, Marcin Hojda, Marcin Kaluźniak, Marcin Kania, Marcin Kostoj, Marcin Kozłowski, Marcin Kutkiewicz, Marcin Kuźnik, Marcin Wierzbicki, Marcin Zalewski, Marcin Żebrowski, Marek Bogdanski, Marek Ćwikliński, Marek Kłosowicz, Marek Litwin, Marek Nawacki, Marek Sasulski, Marek Stajer, Marek Wojciechowski, Marek Wolak, Maria Antonina Jamrozik, Maria Pankowska, Maria Poniatowska, Maria Ptaszkiewicz, Mariusz Bacior, Mariusz Brycki, Mariusz Giczan, Mariusz Góralski, Mariusz Grabowicz, Mariusz Lizuraj, Mariusz Majchrzak, Mariusz Masik, Mariusz Ponikiewski, Mariusz Ponikiewski, Mariusz Poznański, Marlena Tarapata, Marta Fiałkowska, Marta Kosińska, Marta Majerowska, Martyna Laskowska, Martyna Zaremba, Marzena Stankiewicz, Marzena Taterra, Mateusz Balcerski, Mateusz Biel, Mateusz Chudziak, Mateusz Demidziuk, Mateusz Gorczyca, Mateusz Gryżewski, Mateusz Kowalczuk, Mateusz Piątkiewicz, Mateusz Stawecki, Mateusz Stępień, Mateusz Wilczek, Mateusz Zawieja, Michal Trzeszczak, Michał Dymbel, Michał Fabiszewski, Michał Guzowski, Michał Helwak, Michał Koziej, Michał Lehr-Kowalski, Michał Majcherek, Michał Makaruk, Michał Niemiec, Michał Obiedziński, Michał Pilarski, Michał Prasałek, Michał Rosiak, Michał Różański, Michał Skupiński, Michał Żuk, Mikołaj Lazor, Mikołaj Sobczyński, Milena Danielak, Miłosz Lubacki, Mirosław Trześniowski, Monika Czubaczyńska - Szram, Monika Goszczyńska, Monika Kamińska, Monika Kondarewicz, Multienergia sp. z o.o., Natalia Banach, Natalia Brzeska, Natalia Kita, Natalia Ropek, Natalia Tołsty, Nina Szymańska, Norbert Seliga, Nzoz Nr 1, Olga Gruszka, Olga Jasionowska, Olga Karolak, Oliwia Grafka, Oskar Gardzielewski, Panda, Paulina Lipińska, Paulina Żbikowska, Pawel Sokol, Paweł Bętkowski, Paweł Biczysko, Paweł Bodzon, Paweł Fiedor, Paweł Goławski, Paweł Jabłoński, Paweł Jacek Wach, Paweł Jankowiak, Paweł Juros, Paweł Kędziak, Paweł Klimczak, Paweł Krzyszkowski, Paweł Majewski, Paweł Nowakiewicz, Paweł Piotr Vertun, Paweł Pluta, Paweł Rochowiak, Paweł Siwy, Paweł Tarasiewicz, Paweł Tomczyk, Paweł Zawiślak, Paweł Zięzio, Peter Ondrejcik, Piotr Antonik, Piotr Balcerzak, Piotr Bugdał, Piotr Chazan, Piotr Cielma, Piotr Cisek, Piotr Drabarek, Piotr Grabski, Piotr Gradziński, Piotr Izydorek, Piotr Jakubczyk, Piotr Kierat, Piotr Kotliński, Piotr Krukierek, Piotr Laskowski, Piotr Lewandowski, Piotr Maćkiewicz, Piotr Majka, Piotr Mertin, Piotr Popowski, Piotr Stemplewski, Piotr Strzelewicz, Piotr Szterner, Piotr Wincenciak, Piotr Wysocki, Piotr Zagalski, Piotr Zygmunt, Piotr Żarczyński, Pracownia Projektowa „MARP" Arch. Marek Paczkowski, Przemysław Beztroski, Przemysław Hatłas, Przemysław Miąsik, Przemysław Nelec, Przemysław Olenderek,

LISTA HONOROWYCH WYDAWCÓW DRUGIEJ EDYCJI KSIĄŻKI

Przemysław Rajca, Przemysław Ratajczak, Przemysław Usarek, Przemysław Wesołowski, Radosław Baczyński, Radosław Grabski, Radosław Kud, Radosław Parcheniak, Radosław Urbanik, Rafal Rurarz, Rafał Chrobak, Rafał Lisiecki, Rafał Moskal, Rafał Sak, Remigiusz Brodziński, Remigiusz Kuźmicz, Robert Bodziony, Robert Hołderny, Robert Kasprzyk, Robert Martyna, Robert Musiał, Robert Wolski, Roksana Chirowska, Roman Zajac, Romana Elmer, Romuald Kasprowicz, Romuald Słomko, Ryszard Dowgier, Sebastian Bałut, Sebastian Bownik, Sebastian Brzozowski, Sebastian Lampa, Sebastian Pająk, Sebastian Piaseczny, Sebastian Radlak, Sławomir Kalinowski, Sławomir Klimecki, Sławomir Rajchel, Sławomir Zaręba, Stanisław Chyla-Smyk, Stanisław Gacek, Stanisław Wojaczek, Stefan Janos, Stefan Orzech, Sylwester Tokarz, Sylwia Stefaniak, Sylwia Kowal, Szymon Borth, Szymon Grzywacz, Szymon Kiepel, Szymon Sawicki, Szymon Zimnoch, Tadeusz Fułek, Tadeusz Lenart, Tomasz Barden, Tomasz Bugla, Tomasz Chojak, Tomasz Chojnacki, Tomasz Daniluk, Tomasz Januszczak, Tomasz Jeziorski, Tomasz Kałaska, Tomasz Kaniak, Tomasz Korzeniewski, Tomasz Mierzejewski, Tomasz Oleszczuk, Tomasz Piątkowski, Tomasz Siegieda, Tomasz Stankiewicz, Tomasz Szymczak, Tomasz Tomaszewski, Tomasz Wojtasik, Tomasz Żebrowski, Ula Dębiec, Urszula Nowacka, Wacław Skowron, Waldemar Muszkiet, Waldemar Stępień, Weronika Dryja, Wiesław Godeń, Wiesław Kalich, Wiktor Kujawa, Witek Augustynek, Witold Lejewski, Witold Zalewski, Wojciech Dabrowski, Wojciech Galosz, Wojciech Krasnicki, Wojciech Kurek, Wojciech Nowak, Wojciech Nycz, Wojciech Orzeł, Wojciech Owczarzak, Wojciech Staszel, Wojciech Zawisz, Współpracownia, Xenia Pietrzyk, Zbigniew Lis, Zbigniew Madziewicz, Zbigniew Sienkiewicz, Zbigniew Tyczyński, Zbigniew Uciechowski, Zuzanna Pastuszczak.

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie 9
1.1 Sytuacja 9
1.2 Budowanie ze słomy i jego wkład w tworzenie zrównoważonego budownictwa 9
1.3 Wątpliwości i obawy 11

2. Historia i rozpowszechnienie budownictwa z kostek słomy **12**
2.1 Wczesne budowle (1880-1980) 12
2.2 Renesans budowania z kostek słomy 14

3. Od słomy do kostek słomy **18**
3.1 Rodzaje słomy 18
3.2 Produkcja kostek słomy 18
3.3 Kostki słomy dla budownictwa. Zapewnienie jakości 20

4. Właściwości fizyczne **22**
4.1 Przewodność i izolacyjność cieplna 22
4.2 Pojemność cieplna 23
4.3 Mostki termiczne 24
4.4 Ochrona przed wilgocią i zachowywanie się konstrukcji z kostek słomy w środowisku wilgotnym 25
4.5 Ochrona przed hałasem 30
4.6 Ochrona przeciwpożarowa 31

5. Bilans CO_2 i wartość PEI dla kostek słomy oraz ścian z kostek słomy **32**
5.1 Podstawy 32
5.2 Zawartość energii wbudowanej (PEI) w kostkach słomy 33
5.3 PEI różnych materiałów budowlanych i konstrukcji 34

6. Podstawy projektowania konstrukcji nośnych **35**
6.1 Smukłość 35
6.2 Odkształcenie liniowe 35
6.3 Pełzanie 37
6.4 Relaksacja naprężeń 37
6.5 Przekazywanie obciążeń na część ściany 38
6.6 Deformacja ścian przy obciążeniach poziomych 39
6.7 Odporność na trzęsienie ziemi 39

7. Domy pasywne izolowane kostkami słomy **40**

8. Systemy konstrukcji ścian **41**
8.1 Definicje i techniki budowania 41
8.2 Ściany nośne z kostek słomy 42
8.3 Ściany o nienośnym zastosowaniu kostek słomy 44
8.4 Izolacja zewnętrzna z kostek słomy w nowym budownictwie 44
8.5 Dodatkowa izolacja kostkami słomy budynków istniejących 45
8.6 Ocena porównawcza systemów 45

9. Konstrukcje łukowe z kostek słomy **46**

10. Izolacja dachu **48**

11. Izolacja podłogi **50**

12. Szczególne aspekty konstrukcyjno-budowlane **51**
12.1 Ściany nośne z kostek słomy 51
12.2 Ściany o nienośnym zastosowaniu kostek słomy 53
12.3 Rozwiązania fundamentu i cokołu, połączenia z podłogą 54
12.4 Budowa ścian o nienośnym zastosowaniu kostek słomy 56
12.5 Wieńce 59
12.6 Okna i drzwi 60
12.7 Połączenie ścian z dachem 61
12.8 Ściany wewnętrzne 61
12.9 Stropy między kondygnacjami 62
12.10 Prowadzenie instalacji 62
12.11 Mocowanie ciężkich przedmiotów 63
12.12 Wnęki i kinkiety 63

13. Tynki wewnętrzne **64**
13.1 Wiadomości ogólne 64
13.2 Tynki gliniane 64
13.3 Inne tynki 65

14. Tynki zewnętrzne **66**
14.1 Wiadomości ogólne 66
14.2 Tynki gliniane 66
14.3 Stabilizowane tynki gliniane 66
14.4 Tynki wapienne 68
14.5 Tynki wapienne na podłożu z tynku glinianego 69
14.6 Zakończenia tynku 69

15. Powłoki malarskie **70**
Czysta powłoka wapienna 70
Powłoka wapienno-kazeinowa 70
Powłoka boraksowo-kazeinowa 71

Powłoka kazeinowa bezbarwna 71
Inne stabilizowane powłoki wapienne 71
Powłoki z farby klejowej i z kredy malarskiej 71
Powłoki silikatowe i inne dostępne na rynku 71

16. Hydrofobizacja 72

17. Deskowania elewacji 73

18. Koszty budowy, wkład pracy własnej, czas budowy 73

19. Ubezpieczenie budynku 75

20. Dopuszczenie do zastosowania, pozwolenie na budowę 76

21. Przebieg budowy 77
Ochrona przeciwpożarowa 77
Sprawdzanie jakości kostek 77
Zapewnienie właściwej gęstości 78
Transport i magazynowanie 78
Dodatkowe zagęszczanie (kompresja) 78
Dzielenie kostek 79
Kształtowanie kostek 79
Wyrównywanie płaszczyzn czołowych 79
Ochrona przeciwdeszczowa 79
Montaż kostek i stabilizacja ściany 79
Sprężanie wstępne ściany (prekompresja) 80
Wielokrotne sprężanie kostek w ścianach nośnych 82
Likwidacja wybrzuszeń 83
Wypełnianie szczelin, nierówności 83
„Strzyżenie" powierzchni 83
Nanoszenie tynku glinianego 83
Technika „French dip" 84

22. Przykłady zrealizowanych obiektów 85
22.1 Nauka na błędach – budowla eksperymentalna Uniwersytetu Kassel 85
22.2 Dom jednorodzinny w Maasholm 88
22.3 Budynek mieszkalny w Bösel 91
22.4 Budynek mieszkalny w Esslingen 92
22.5 Budynek mieszkalny w Westerlinde 94
22.6 Budynek mieszkalny w Bad König 96
22.7 Budynek mieszkalny w Langenau 98
22.8 Willa miejska w Eggenburg, Austria 100
22.9 Dom wielorodzinny Strohpolis w Sieben Linden koło Poppau 101
22.10 Budynek mieszkalny w Egg, Austria 102
22.11 Budynek biurowo-wystawowy w Böheimkirchen, Austria 104
22.12 Budynek mieszkalny w Knutwil, Szwajcaria 106
22.13 Budynek mieszkalny w Wienerherberg, Austria 108
22.14 Budynek biurowo-wystawowy w Verden 110
22.15 Budynek mieszkalny w Langtaufers, Włochy 112
22.16 The Spiral House koło Castlebar, Co. Mayo, Irlandia 114
22.17 Budynek mieszkalno-biurowy w Amsterdamie, Holandia 116
22.18 Budynek mieszkalny w Ouwerkerk, Zelandia, Holandia 117
22.19 Budynek mieszkalny w Taos, USA 118
22.20 Budynek mieszkalny, Belneario Punta Ballena, Urugwaj 119
22.21 Budynek szkoleniowy i budynek biurowy w Prenzlau 120
22.22 Budynek mieszkalny w Stupavie, Słowacja 122
22.23 Kopuła z kostek słomy jako dźwiękowe atelier, Forstmehren 124
22.24 Budynek biurowy w Tattendorf, Austria 126
22.25 Mieszkalne sklepienia w Tamera, Portugalia 128
22.26 Budynek biurowy w Hrubý Šúr, Słowacja 131
22.27 Trout Farm Complex, Tassaroja Canyon, Kalifornia, USA 134
22.28 Prototyp budownictwa socjalnego w Sentinela do Sul, Brazylia 136
22.29 Hala produkcyjna z biurem w Dunningen 137
22.30 Budynek mieszkalno-szkoleniowy w Stollhof, Austria 138
22.31 Budynek mieszkalny „Ważka" w Poppau -Siebenlinden 140
22.32 „Biohof" w Eferding, Austria 142
22.33 Budynek mieszkalny w Seeheim 144
22.34 Pawilon szkoleniowy w Oensingen, Szwajcaria 146
22.35 Jules Ferry Résidence w St. Dié des Vosges, Francja 148
22.36 Budynek mieszkalny ze sklepieniami w Buchberg-Wangelin 150

23. Perspektywy 153

24. Adresy internetowe, organizacje i kontakty 153

25. Bibliografia 154

26. Autorzy ilustracji 155

27. Skorowidz 156

WSTĘP: OD REDAKCJI

Budownictwo z kostek słomy jest w Polsce obecne od około 15 lat, jednak dotychczas nie było na naszym rynku żadnej książki, która całościowo opisywałaby ten sposób budowania. Niniejsze wydanie „Podręcznika budowania ze słomy" daje wreszcie polskim czytelnikom możliwość zgłębiania wiedzy na ten temat we własnym języku, co jest nie bez znaczenia w przypadku książki o zdecydowanie „technicznym" charakterze.

Tłumaczenie tekstu było zadaniem niełatwym i na etapie korekty merytorycznej konieczne było podjęcie wielu arbitralnych decyzji ze świadomością, że jest to pierwsza książka na temat budowania z kostek słomy wydawana w Polsce. Podstawową decyzją było konsekwentne używanie określenia „*kostki słomy*" i niestosowanie innych jak „*bele*" czy „*baloty*", co mogłoby być mylące. Kwestią, która wzbudziała największą dyskusję, było tłumacznie wyrażeń „*lasttragende Bauweise*" i „*nicht lasttragende Bauweise*", czyli dosłownie: „*nośna technika (sposób) budowania*" i „*nienośna technika budowania*". Definicje i objaśnienia na ten temat można znaleźć w rodziale 8., jednak w większości przypadków w tekście zamiennie wykorzystano bardziej opisowe tłumaczenia np. „*nienośne zastosowanie kostek słomy w ścianie*". Tym samym uniknięto językowej niezręczności, jaką byłoby w języku polskim nazywanie „*ścianą nienośną z kostek słomy*" ściany nośnej o konstrukcji drewanianej wypełnianej słomą.

Inne, mniej złożone kwestie związane z decyzjami redakcyjnymi, są w tekście wyjaśnione przypisami od redakcji (oznaczonymi *). Wszędzie, gdzie to wydało się racjonalne, oprócz polskiego tłumacznia pozostawiono oryginalne nazwy własne czy terminy fachowe, by ułatwić czytelnikom szukanie dalszych informacji na własną rękę (chociażby w wyszukiwarkach internetowych).

Czytajac podręcznik należy zwrócić uwagę, że choć przedstawia on szeroki obraz budownictwa z kostek słomy, to jednak szczególny nacisk położony jest na sytuację w Niemczech. Ma to znaczny wpływ na dobór przykładów, podawane informacje o kosztach budowy czy opis regulacji prawnych. Standardy budownictwa w Niemczech są generalnie znacznie wyższe niż w Polsce – dotyczy to także budowania z kostek słomy. Świadczy o tym dobitnie chociażby ilość budynków pasywnych i niskoenergetycznych wśród przedstawionych w książce przykładów. Ciekawostką jest też, że w Polsce (inaczej niż w Niemczech) przyjęło się dość powszechnie układanie kostek słomy na płask – także jako wypełnienia w szkielecie drewnianym – i mocne ich kompresowanie w ścianie. Być może jest to związane z dość niską gęstością kostek słomy dostępnych w Polsce. To zresztą kolejna różnica „kulturowa" – znalezienie rolnika, który dostarczy kostki sprasowane do zalecanego przez autorów książki poziomu, okazuje się w naszym kraju często dość trudne.

Praca nad powstaniem tej książki to kolejny przykład udanej współpracy pomiędzy Cohabitatem i Ogólnopolskim Stowarzyszeniem Budownictwa Naturalnego, w której OSBN udziela wsparcia merytorycznego.

Podziękowania za dodatkowe konsultacje wybranych fragmentów należą się Pawłowi Noszczykowi, Agacie Pilachowskiej oraz członkom Stowarzyszenia: Katarzynie Rączce-Bilińskiej, Ryszardowi Bilińskiemu, Piotrowi Soboniowi.

MACIEJ JAGIELAK
REDAKTOR MERYTORYCZNY
PREZES OSBN

OSBN
Ogólnopolskie Stowarzyszenie Budownictwa Naturalnego

WSTĘP: O POEZJI, INŻYNIERII I ŚWINKACH

Architektura ze słomy to poezja. Czy nie jest poezją, gdy coś słabego okazuje się silne? Gdy coś, co jest przemijające, zachwyca trwałością? Gdy coś, co jest wyśmiewane, daje najpoważniejsze odpowiedzi na najbardziej ważkie dylematy współczesności – problemy ekologiczne i społeczne? Architektura ze słomy jest inżynieryjną poezją, która rozwiewa przesądy i pokazuje, jak głupio było wierzyć w bajki… na przykład tę o trzech świnkach…

A swoją drogą, czy ktoś zapytał, dla kogo pracował wilk? Czyim był wysłannikiem i dlaczego tak mu zależało na niszczeniu tkanki budowlanej i dręczeniu prosiaczków? Czyżby był opłacany przez deweloperów i producentów plastikowych elewacji?

Na szczęście świnki są bardzo inteligentnymi zwierzętami. Miały dość czasu, by wyedukować się i przechytrzyć wilka. Podobno planują przeprowadzić się z powrotem do ciepłego, przytulnego, słomianego domu.

Minęło piętnaście lat, odkąd miałem przyjemność poczuć, jak buduje się w Przełomce pierwszy w Polsce słomiany dom pod okiem Pauliny Wojciechowskiej. Był to przełom dla wielu, którzy dziś tworzą grupę Cohabitat. Wiele też czasu minęło od momentu, gdy proponując publikację książki o architekturze ze słomy, usłyszałem w pewnym architektonicznym wydawnictwie „Toż to niepoważne! Nie będziemy cofać budownictwa do średniowiecza!”… no i oczywiście usłyszałem tę bajkę o prosiaczkach. Tym, którzy wówczas podłożyli świnkę tamtej publikacji, można by dedykować tę książkę. Niech przeczytają i zrozumieją, że budownictwo naturalne jest bardziej potrzebne dzisiejszej architekturze niż wielorakie neo-, post-, czy ultramodernizmy.

Kiedy w latach 80. po raz pierwszy organizowano w USA kongresy o budownictwie ze słomy, chciano, by ta architektura była inna… i to nie pod względem wyglądu ścian. Umawiano się, że to budownictwo powinno być dostępne dla wszystkich, a wiedzą o nim należy się dzielić, a nie ją patentować. Czasy trochę się zmieniły. Słoma przestała być tylko idealistyczną bajką, a staje się biznesem – i poniekąd to dobrze. Mimo zmian, wiele idei i szczerej energii jednak pozostało. W środowisku miłośników słomy, jak nigdzie indziej, nadal obecna jest chęć dzielenia się wiedzą. Niniejsza książka jest na to doskonałym dowodem. Powstała dzięki zaangażowaniu wielu pasjonatów, którzy są przekonani, że nie tylko chęć i wiara, ale i wiedza – są potęgą. A technika budowania ze słomy stała się poważną dziedziną naukową. Książka ta była długo wyczekiwana i jest bardzo potrzebna. Poważnych anglo- czy niemieckojęzycznych publikacji na temat słomianej architektury są dziesiątki. W Polsce wreszcie pojawiła się pierwsza taka praca; ale za to jaka! Jest to dzieło szczególne, napisane przez wyjątkowego człowieka – profesora Minke, który całym swoim życiem dowodził, że można być inżynierem-naukowcem, a jednocześnie nie przestać być poetą wierzącym w wielkie idee. Minke poświęcił całą swoją karierę, by rozwijać architekturę przyjazną środowisku i ludziom. Co ciekawe, był on kiedyś na najlepszej drodze, by zostać architektoniczną gwiazdą. Pracował z ówczesnymi celebrytami, takimi jak Otto Frei. Zdecydował się jednak zrobić całkowity zwrot w karierze. Postanowił gruntownie (nomen omen) zmienić architekturę i zajął się badaniem materiałów naturalnych. Poświęcił się na początku architekturze z gliny, co podsumował w „Podręczniku budowania z gliny”, który dwa lata temu opublikowało wydawnictwo Brama Wiedzy. Minke nawrócił się raz jeszcze, gdy po latach pracy nad gliną odkrył piękno słomy. Tak oto niniejsza książka jest poniekąd drugą częścią jego dokonań dotyczących budownictwa naturalnego, opisującą tym razem z równą solidnością kolejny zaskakujący materiał. Mimo konkretności i rzetelności tej pracy, trudno nie dostrzec, że pomiędzy wykresami, przydatnymi i praktycznymi wskazówkami, można też odczytać przesłanie – słoma jest poezją.

MARCIN MATEUSZ KOŁAKOWSKI
(ARCHITEKT, DZIENNIKARZ, DOKTOR NA UNIWERSYTECIE W LINCOLN, UK)

1. WPROWADZENIE

1.1 Sytuacja

O tym, że wznoszenie budynków z kostek słomy może być tanią, energooszczędną i ekologiczną formą nowoczesnego budownictwa, niemieckie media donoszą coraz częściej. W 2006 roku, na skutek zabiegów niemieckiego Stowarzyszenia Budownictwa z Kostek Słomy (niem. *Fachverband Strohballenbau* – FASBA), powstała pierwsza w Niemczech aprobata techniczna (niem. *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung*) dla tego sposobu budowania [AbZ 2006]. Na początku roku 2014 została wydana nowa, znacznie rozszerzona aprobata dla kostek słomy jako izolacji cieplnej (patrz rozdz. 20). Urzędowe wyniki testów ogniowych i izolacyjności termicznej (por. rozdz. 4.6 i 4.1), a także nowe osiągnięcia badań naukowych, dają wystarczająco pewne podstawy do budowania domów z zastosowaniem kostek słomy. W międzyczasie FASBA zaczęła także organizować dwustugodzinne szkolenia dla rzemieślników.

Niemcy, znane w Europie ze swoich surowych przepisów budowlanych oraz z tego, że inwestorzy są skorzy do procesowania się, są szczególnie trudnym terenem dla innowacji. Budynki muszą powstawać zgodnie z „ogólnymi regułami sztuki budowania" oraz „stanem techniki", które nie nadążają za postępem. Wprowadzenie jakichkolwiek nowości bez długotrwałych i kosztownych zabiegów o dopuszczenie do zastosowania jest niemalże niemożliwe. Od roku 2014 staje się to jednak znacznie ułatwione, dzięki wspomnianej nowej aprobacie. Mimo wielu trudności, w ostatnich latach powstało na terenie Niemiec około 250 budynków z kostek słomy.

W wielu krajach Europy wprowadzanie innowacji przy wznoszeniu budowli jest znacznie łatwiejsze (por. zdjęcia 1.1 i 1.2). Przykładowo, w Anglii przepisy budowlane mają jedynie charakter zaleceń albo wytycznych, a w Szwajcarii wystarczają podpisy architekta i konstruktora, którzy gwarantują bezpieczeństwo budowli.

Książka ta ma przedstawić projektantom i wykonawcom (architektom, inżynierom, rzemieślnikom i laikom) odpowiadające naszemu klimatowi i prawodawstwu niezbędne fakty, aspekty fizyki budowli, a także ważne detale konstrukcyjne oraz ogólne zasady budowania ze słomy. Ma przy tym zwracać uwagę na możliwe błędy, powstałe przy projektowaniu i wykonawstwie, ponieważ cały szereg rozwiązań konstrukcyjnych przedstawionych w literaturze amerykańskiej nie nadaje się do wdrożenia w naszym klimacie i może doprowadzić do znacznych szkód, a poza tym reguły te nie odpowiadają uznanym w Niemczech zasadom techniki budowlanej.

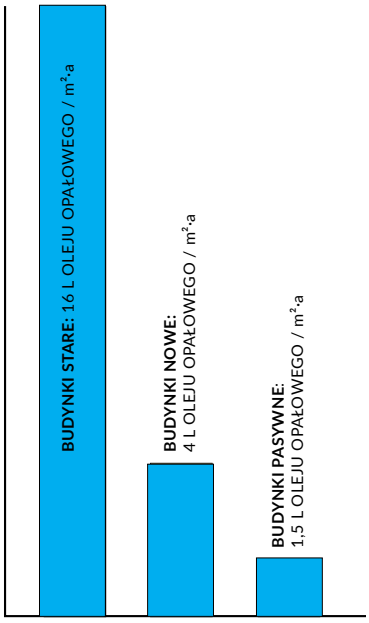
1.1 TRZYKONDYGNACYJNY BUDYNEK MIESZKALNY Z KOSTEK SŁOMY W POŁUDNIOWYM TYROLU (PROJEKT: MARGARETA SCHWARZ, WERNER SCHMIDT)

1.2 DWUKONDYGNACYJNY BUDYNEK MIESZKALNY Z ZEWNĘTRZNYMI ŚCIANAMI NOŚNYMI Z KOSTEK SŁOMY W IRLANDII (PROJEKT: NORITA CLESHAM)

1.2 Budowanie ze słomy i jego wkład w tworzenie zrównoważonego budownictwa

Słoma jest surowcem wzrastającym corocznie, który w naszej szerokości geograficznej jest dostępny wszędzie. Po zakończeniu użytkowania można go ponownie włączyć w naturalny obieg materii, nie stwarza więc żadnych problemów utylizacyjnych. Przy rozbiórce domów można słomę łatwo odłączyć od innych elementów i przykładowo użyć jako kompostu w ogrodzie albo jako materiału spulchniającego ziemię w rolnictwie. Do produkcji kostek słomy i ich transportu na budowę potrzebna jest mniejsza ilość energii, niż to się dzieje w przypadku innych materiałów budowlanych. Dlatego ten rodzaj budownictwa jest niemal nieszkodliwy dla środowiska. I tak, do produkcji kostek słomy potrzebnych do postawienia 1 m² ściany o współczynniku przenikania ciepła $U=0{,}15 W/(m^2 \cdot K)$

1.3 PORÓWNANIE ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ PEI, POTRZEBNĄ DO PRODUKCJI MATERIAŁÓW IZOLACYJNYCH NA 1 m² POWIERZCHNI ŚCIANY DOMU PASYWNEGO.



1.4 TYPOWE, ROCZNE ZUŻYCIE ENERGII CIEPLNEJ DLA BUDYNKÓW O RÓŻNYCH STANDARDACH

niezbędne jest około 3 kWh energii [Krick 2008], podczas gdy do wytworzenia odpowiedniej płyty izolacyjnej z polistyrenu potrzeba ok. 100 kWh (por. wykres 1.3).

Poprzez gromadzenie w słomie CO_2 oraz dzięki podwyższonej izolacyjności cieplnej, domy z kostek słomy znacząco wpływają na redukcję dwutlenku węgla w budownictwie. Takie budynki mogą także znacznie przyczynić się do osiągnięcia wyznaczonych w Niemczech celów ochrony klimatu.

Słoma jako materiał budowlany wypełnia więc wszelkie wymagania stawiane surowcom przyjaznym środowisku.

Według niemieckiej aprobaty technicznej kostki słomy posiadają:

- wartości przewodności cieplnej:
  $\lambda = 0{,}080\ W/(m{\cdot}K)$ wzdłuż łodyg
  $\lambda = 0{,}052\ W/(m{\cdot}K)$ w poprzek łodyg
- wskaźnik oporu dyfuzji pary wodnej
  $\mu = 2$
- klasę materiału budowlanego wg DIN 4102: B2, normalnie zapalny
- gęstość: 90–110 kg/m³

Urzędowe badania techniczne przeprowadzone w instytutach badania materiałów w Brunszwiku i Wiedniu przyniosły następujące wyniki:

Odporność ogniowa

- F30 wg DIN 4102* – dla ściany nośnej z kostek słomy, obciążonej i pokrytej 3-5 cm grubości tynkiem glinianym (jedynym krajem na świecie, gdzie ten test przeprowadzono są Niemcy);
- F30 wg DIN 4102 – dla ściany nośnej z kostek słomy, obciążonej i pokrytej warstwą gliny o grubości 1 cm;
- F90 – 90-minutowa odporność ogniowa dla nienośnej ściany pokrytej tynkiem glinianym o grubości 3-5 cm, według normy ÖNORM B3800 **;
- Materiał budowlany klasy (SBI) B1 (trudnopalny) według EN 13501 z warstwą obrzutki glinianej o grubości 8 mm.

* Oznaczenie F30 wg niemieckiej normy DIN 4102 odpowiada w przybliżeniu oznaczeniu REI 30 wg europejskiej normy EN 13501 (która obowiązuje także w Polsce)

** Oznaczenie F90 wg austriackiej normy ÖNORM B3800 odpowiada w przybliżeniu REI 90 wg europejskiej normy EN 13501.

Konstrukcje ścienne, izolowane kostkami słomy, można stosować przy wznoszeniu większości jedno- i dwukondygnacyjnych budynków: domów jednorodzinnych, bliźniaczych, szeregowych, garaży, budynków gospodarczych, przedszkoli, szkół, biur i innych. W pojedynczych przypadkach możliwe jest wznoszenie budynków wielokondygnacyjnych.

Domy z izolacją z kostek słomy mogą nawet uzyskać standard domów pasywnych. Takim mianem określa się budynek, którego zapotrzebowanie roczne na ciepło potrzebne do jego ogrzania wynosi mniej niż 15 kWh/m² i konwencjonalny system ogrzewania jest zbędny (por. wykres 1.4). Koszty koniecznej energii grzewczej (np. gazu ziemnego) mogą okazać się niższe od opłaty stałej za przyłącze, a czasem wręcz niższe od kosztów związanych z pracą pompy cyrkulacyjnej konwencjonalnego systemu ogrzewania.

Niemieckie rolnictwo produkuje słomę w wystarczającej ilości, by (według badań przeprowadzonych przez autorów) teoretycznie możliwe było izolowanie słomą rocznie około 700 000 domów jednorodzinnych. O trwałości domów z kostek słomy świadczy wiele przykładów z USA. Najstarszy, ciągle zamieszkany budynek ma ok. 100 lat (por. rozdz. 2.1)

Dla budujących samodzielnie ten sposób budowania jest idealny. Zaletą są nie tylko oszczędności kosztów budowy, ale także interakcje zachodzące w trakcie wspólnej pracy. W proces budowy mogą być włączeni członkowie rodziny, sąsiedzi i przyjaciele, którzy normalnie nie mieliby w nim udziału. Dla inwestorów, a szczególnie ich dzieci, powstaje silna więź identyfikacji „z własnymi czterema ścianami", z własnym domem. Dla wszystkich biorących udział w budowie, zdarzenie to staje się bogatym w przeżycia i ułatwiającym kontakty procesem (zdjęcia 1.5-1.8).

W USA, Kanadzie i Australii ściany z kostek słomy wznosi się podczas tzw. *work parties*, na które zapraszani są nie tylko przyjaciele, ale też zupełnie obcy ludzie.

1.3 Wątpliwości i obawy

Wątpliwości i obawy

Niektórzy ludzie mają poważne wątpliwości i podświadome obawy, kiedy wyobrażają sobie życie i pracę w domach o ścianach z kostek słomy. Obie reakcje bazują przede wszystkim na niewiedzy i strachu przed czymś nowym, nietypowym. Niedoborom wiedzy można zaradzić wyjaśnieniami, co zresztą jest celem tej książki. Strach można jedynie próbować pokonać argumentami – co niniejszym spróbujemy uczynić.

Niebezpieczeństwo pożaru

To, że luźna słoma łatwo się pali, jest oczywiste. Ale fakt, że obustronnie otynkowane ściany z kostek słomy posiadają odporność ogniową do 90 minut (F90), jest jeszcze stosunkowo mało znany. Zostało to po raz pierwszy udowodnione w Austrii, zgodnie z normą ÖNORM B 3800 oraz, w międzyczasie, potwierdzone również w Niemczech.

Miejsce zamieszkania dla myszy

Domy z kostek słomy nie zostaną z biegiem czasu „pożarte" przez stada gryzoni. Słoma nie stanowi dla nich pożywienia, ale za to jest dobrym miejscem na założenie gniazda.

Ze słomą są więc podobne problemy, jak z konwencjonalnymi materiałami izolacyjnymi. Dlatego narażone elementy budynku muszą być przed gryzoniami chronione przy pomocy tynków, siatek lub perforowanej blachy, podobnie zresztą, jak robi się to w przypadku zabezpieczania konwencjonalnych izolacji.

Podczas oględzin budynku doświadczalnego z kostek słomy, który po 4 latach rozebrano i każdą pojedynczą kostkę słomy poddano badaniom, nie stwierdzono ani jednego miejsca zaatakowanego przez szkodniki.

Termity

Słoma nie jest także ulubionym pożywieniem dla termitów. Niektóre ich gatunki wprawdzie są w stanie strawić słomę, wolą jednak drewno. Istnieją relacje mówiące, że w pewnym historycznym budynku z kostek słomy termity zjadły drzwi i ramy okienne, lecz słoma pozostała nienaruszona [Steen et al. 1994, str. 64]

Grzyby pleśniowe

Obawa, że na kostkach słomiany urosną grzyby pleśniowe, jest nieuzasadniona przy właściwym, budowlano-konstrukcyjnym wykonaniu ściany, ponieważ na suchej słomie nie może powstać żadna pleśń. Właściwe wykonanie oznacza, że zastosowane kostki są suche, tj. posiadają wilgotność mniejszą niż 13%. Oznacza też, że albo paroizolacja zapobiega przenikaniu wilgoci od wewnątrz pomieszczenia, albo zewnętrzna warstwa wykończeniowa jest na tyle przepuszczalna dla pary, by ewentualna woda skraplająca się na kostkach mogła odpowiednio szybko odparować na zewnątrz. Do potwierdzenia tego służą odpowiednie, prawnie uznane metody obliczeniowe (por. rozdz. 4.4).

Przy wykonywaniu tynku należy zwrócić uwagę, by mógł on jak najszybciej wyschnąć. Dlatego musi on być otwarty dyfuzyjnie w wystarczającym stopniu, by zawilgocona podczas tynkowania słoma mogła możliwie szybko się osuszyć. Jeżeli dodamy do glinianej zaprawy tynkarskiej dużo materiałów organicznych, takich jak trociny czy sieczka i tynk będzie schnął bardzo wolno, mogą powstawać na jego powierzchni grzyby pleśniowe. Dlatego trzeba pilnować, aby przy stosowaniu grubych tynków pierwsze warstwy były już suche zanim położymy warstwę wierzchnią, która z kolei nie może zawierać żadnych składników organicznych lub jedynie bardzo niewielką ich ilość.

Alergia na pył

Powstający podczas budowy pył słomiany może powodować u ludzi uczulonych nieprzyjemne reakcje. Dlatego alergicy powinni pracować w maskach z filtrem chroniącym układ oddechowy. Dla mieszkańców gotowego budynku o otynkowanych ścianach z kostek słomy nie ma żadnego zagrożenia.

1.5-1.8 „ZIELONA SALA LEKCYJNA" NA TERENIE WYSTAWY OGRODÓW „LANDESGARTENSCHAU 2006" W WERNIGERODE. ŚCIANY NOŚNE Z KOSTEK SŁOMY WYKONANE PRZEZ GRUPĘ AMATORÓW POD NADZOREM FRIEDERIKE FUCHS.

2. HISTORIA I ROZPOWSZECHNIENIE BUDOWNICTWA Z KOSTEK SŁOMY

2.1 FAWN LAKE RANCH, HYANNIS, NEBRASKA, 1900-1914

2.2 MARTIN-MONHART-HOUSE, ARTHUR, NEBRASKA, 1925

2.3 PILGRIM HOLINESS CHURCH, ARTHUR, NEBRASKA, USA 1928

2.4 BURRIT MANSION, HUNTSVILLE, ALABAMA, USA, 1938

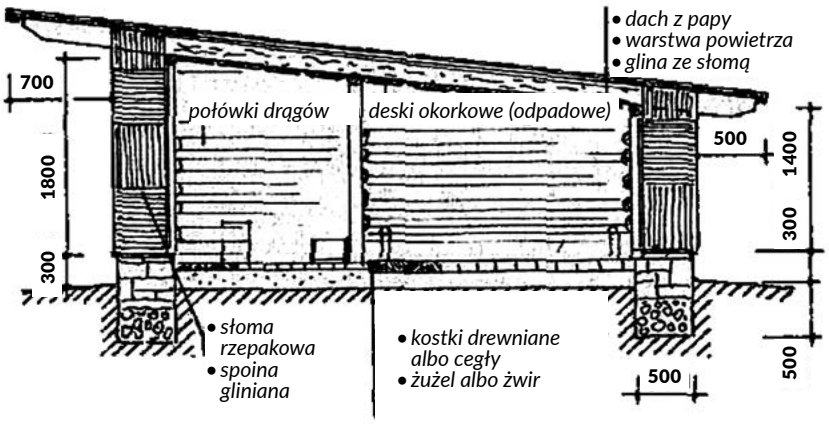
2.1 Wczesne budowle (1880-1980)

Rozwój budownictwa z kostek słomy rozpoczął się w USA w XIX wieku, wraz z wprowadzeniem pras do słomy. W latach 1861-1866 wytwarzano kostki siana, które były przeznaczone dla koni wojskowych podczas amerykańskiej wojny domowej. W roku 1872 wspomniano o prasie napędzanej siłą koni, a ok. 1884 r. stosowano już prasy parowe.

Pierwsze udokumentowane budynki z kostek słomy pochodzą ze słabo zadrzewionych terenów w stanie Nebraska. Wymyślone początkowo prawdopodobnie jako budowle prowizoryczne, służyły robotnikom rolnym za miejsce zamieszkania. Okazały się jednak trwałe i przytulne zarazem. W roku 1886 powstał w pobliżu Bayard, Scott´s Bluff County budynek szkolny z jednym pomieszczeniem klasowym [Steen et al. 1994]. Te wczesne budynki powstały bez konstrukcji drewnianej, dach spoczywał bezpośrednio na ścianie z kostek słomy. Taki „przenoszący obciążenia" sposób budowania określano później w literaturze jako technikę *Nebraska*. Najstarsze, znane i do dzisiaj zamieszkane domy o konstrukcji nośnej z kostek słomy powstały między rokiem 1900 a 1914; budynki zostały rozbudowane w latach 40. ubiegłego wieku (zdjęcie 2.1). Największe rozpowszechnienie tej techniki nastąpiło w latach 1915-1930. Welsch [1970] twierdzi, że w tym czasie powstało około 70 domów, spośród których jeszcze 13 istniało w 1993 roku. W miejscowości Arthur w stanie *Nebraska*, w roku 1928 zbudowano kościół Pilgrim Holiness Church, którego ściany nośne są z z kostek słomy (zdjęcie 2.3). Przedstawiony na zdjęciu 2.4 budynek Burrit Mansion z Huntsville, w Alabamie powstał w 1938 r. i jest prawdopodobnie jednym z pierwszych dwukondygnacyjnych domów w USA o konstrukcji szkieletowej drewnianej, wypełnianej kostkami słomy. W sumie zabudowano w jego ścianach, stropach i dachu 2200 kostek.

2.5 DOM WIEJSKI HEEZE, HOLANDIA, 1944

Dziś obiekt służy jako muzeum. W związku z końcem światowego kryzysu gospodarczego i rozwojem budownictwa przemysłowego, od połowy lat trzydziestych XX wieku budowanie domów z kostek słomy traciło na znaczeniu. Także w Europie budowano tą techniką tylko pojedyncze domy. Przykładowo, w 1921 r. powstał we francuskim Montargis Maison Feuillete budynek o konstrukcji drewnianej szkieletowej, wypełnionej kostkami słomy. Jest to najstarszy tego typu obiekt w Europie (zdjęcie 2.6). Znany jest też budynek w Holandii z roku 1944 [Steen et al. 1994]. W byłej NRD, w latach 80. proponowano budowanie stajni z kostek słomy (rys. 2.9) [Gratz 1988: 126 i nast.]. Jeszcze zanim w latach osiemdziesiątych rozwinęło się w USA nowoczesne budownictwo z kostek słomy i na długo przedtem nim pojawiło się ono w Europie, niemiecki architekt Rudolf Doernach zbudował w 1979 roku w Hennef-Süchterscheid dom o konstrukcji szkieletowej z elementów drewnianych o okrągłych przekrojach, ocieplony kostkami słomy (zdjęcie 2.7). Budynek nie spotkał się z ponadregionalną uwagą i pozostał nieznany dla międzynarodowego środowiska alternatywnego. alternatywnego. Stało się tak być może dlatego, że kostki słomy nie były otynkowane, a jedynie oszalowane z zewnątrz deskami. W ten sposób nie można było zapewnić wiatroszczelności, dlatego słomę przykryto z zewnątrz folią, co z kolei zakłóciło niezbędną możliwość dyfuzji pary wodnej i spowodowało miejscowe zbutwienia. Słomę po kilku latach zdemontowano i zastąpiono konwencjonalnymi materiałami.



2.9 STAJNIE Z KOSTEK SŁOMY Z BYŁEJ NRD

2.6 MAISON FEUILLETTE, MONTAGRIS, FRANCJA, 1921

2.7 BIOHAUS („BIO-DOM"), SÜCHTERSCHEID, NIEMCY, 1979

2.8 NAJSTARSZY BUDYNEK Z KOSTEK SŁOMY W NORWEGII, WZNIESIONY W 1956 R., ZE ŚCIANAMI NOŚNYMI Z KOSTEK SŁOMY

2.10 PIERWSZY W NIEMCZECH, ZBUDOWANY Z OFICJALNYM POZWOLENIEM BUDYNEK Z KOSTEK SŁOMY, WINDECK-WERFEN (RUTH I MATTHIAS BÖNISCH, 1999)

2.2 Renesans budowania z kostek słomy

Rozwój w USA

W latach 70. i 80. XX wieku powstał w USA cały szereg publikacji, które spowodowały renesans budowania z kostek słomy, przy czym propagowano nie tylko technikę przenoszącą obciążenia, ale także zastosowanie kostek słomy jako wypełnienia konstrukcji drewnianej [Welsch 1973, Doolittle 1973, McEderry 1979, Strang 1983].

Od 1993 roku ukazuje się kwartalnik *The Last Straw – the journal of straw-bale construction** – czasopismo konstrukcji słomianych. Później powstało tak wiele budynków z kostek słomy, że w wielu stanach, przede wszystkim południowo-zachodnich, wydano specjalne przepisy prawne w tym zakresie (patrz rozdz. 20). Pierwsze oficjalne regulacje prawne ukazały się w Nowym Meksyku pod nazwą *New Mexico Straw-Bale Construction Guidelines*. W latach 90. przeprowadzono w wielu miejscach w USA badania konstrukcji z kostek słomy, w celu określenia ich izolacyjności termicznej, dopuszczalnych obciążeń statycznych, odporności na działanie wiatru i trzęsienia ziemi, a także zachowania w czasie pożaru [King 2006].

W latach 80. XX wieku prowadzono pierwsze warsztaty eksperymentalnego budownictwa, najpierw w Stanach Zjednoczonych, później w Kanadzie i Wielkiej Brytanii. W 1993 roku zorganizowano w USA pierwszą konferencję na temat budowania z kostek słomy, co doprowadziło do powstania organizacji *National Straw Bale Research Advisory Network*. Od tamtego czasu działa już wiele międzynarodowych stowarzyszeń służących rozpowszechnianiu budownictwa z kostek słomy (patrz rozdz. 24). Poza tym, nie tylko w USA, Kanadzie i Wielkiej Brytanii, ale także w Niemczech i w Austrii działają firmy, które zajmują się profesjonalnym wykonawstwem w tej branży.

2.11 BUDYNEK EKSPERYMENTALNY O NOŚNYCH ŚCIANACH Z KOSTEK SŁOMY, UNIWERSYTET KASSEL, 2000

* *The Last Straw* to w języku angielskim gra słów – występuje w różnych związkach frazeologicznych.

Rozwój w Europie

Początkiem współczesnego budownictwa z kostek słomy w Europie była pierwsza konferencja eko-wiosek w Findhorn w Szkocji, gdzie warsztaty poprowadził

David Eisenberg. Podczas kolejnych, które organizowali Martin Oehlmann i Harald Wedig, zbudowano już pierwsze małe budynki z kostek słomy. W roku 1998 odbyło się pierwsze europejskie spotkanie poświęcone tej technice w Plougonven, w Bretanii. Brało w nim udział ponad 50 osób. Pierwszy w Niemczech budynek wybudowany z oficjalnym pozwoleniem, o ścianach z kostek słomy użytych w funkcji nienośnej, powstał w roku 1999 na podstawie projektu architekta Matthiasa Böhnischa. Natomiast pierwszy obiekt o ścianach nośnych z kostek słomy zbudowano pod kierownictwem Gernota Minke i Dittmara Heckena na terenie uniwersytetu w Kassel w roku 2000 (zdjęcie 2.11, por. rozdz. 22.1). Sensację wzbudził postawiony w 2001 roku w Sieben Linden koło Poppau budynek mieszkalny Club 99 (zdjęcie 2.14), który zbudowali samodzielnie inwestorzy, do tego bez użycia elektronarzędzi. Rok później założono we wiosce ekologicznej Sieben Linden koło Poppau Stowarzyszenie Budownictwa z Kostek Słomy (niem. *Fachverband Strohballenbau* – FASBA). W latach 2002-2005 rolnik i przedsiębiorca budowlany Peter Weber zbudował nieopodal Trewiru pierwszy w Niemczech budynek z urzędowym pozwoleniem, o ścianach nośnych z wielkowymiarowych kostek (zdjęcie 2.15).

Pod kierownictwem Gernota Minke w 2004 roku powstała w Westerwald kopuła z kostek słomy użytych w funkcji nienośnej. Wieńczy ona atelier służące jako studio dźwiękowe (zdjęcie 2.16 i rozdz. 22.23). W latach 2006-2007 powstał w Sieben Linden na podstawie projektu Dirka Scharmera Strohpolis – trzykondygnacyjny, wielorodzinny dom z kostek słomy (zdjęcie 2.17, por. rozdz. 22.9). W lutym 2006 roku wydano pierwszą niemiecką aprobatę techniczną dla kostek słomy. Latem 2006 roku powstało w Bad Schussenried sklepienie w technice nienośnej z kostek słomy (zdjęcie 2.18) podczas warsztatów pod kierownictwem autorów. Na początku roku 2007 powstała pierwsza w Niemczech firma o nazwie STROH Unlimited Ltd. zajmująca się budownictwem z kostek słomy. Latem tego samego roku, według projektu Gernota Minke, w ramach warsztatów powstały

2.12 BUDYNEK ATELIER, GUHREITZEN (PROJEKT: DIRK SCHAMER)

2.13 BUDYNEK KOŁO TREWIRU, O ŚCIANACH NOŚNYCH Z KOSTEK SŁOMY, 2002–2005 (PROJEKT: PETER WEBER)

2.14 CLUB 99, SIEBEN LINDEN, NIEMCY, 2001 (PROJEKT: BJÖRN MEENEN, MARTIN STEMPEL)

2.15 ZAGRODA DLA PRZESIEDLEŃCÓW, WARGOLDSHAUSEN, NIEMCY, 2001 (PROJEKT: ACHIM WÜST)

w miejscowości Tamera (Portugalia) trzy jednostki mieszkalne w formie nośnych sklepień kolebkowych z kostek słomy (zdjęcie 2.17, patrz rozdz. 22.25). W latach 2008-2009 zbudowano według projektu Benjamina Kricka budynek biurowy z nośnych, układanych „na rąb" wielkowymiarowych kostek słomy w Odenwald (zdjęcie 2.20). W roku 2011 w Buchberg-Wangelin w Meklemburgii-Pomorzu Przednim powstało na podstawie projektu Gernota Minke 5 nośnych sklepień z kostek słomy (por. rozdz. 22.36). Aktualnie realizowany jest w Verden szkielet drewniany pięciokondygnacyjnego budynku ze słomianą izolacją (patrz rozdz. 22.14). Dotychczas w Niemczech powstało ok. 250 obiektów zbudowanych przy użyciu kostek słomy.

W Austrii, dzięki poparciu przez Ministerstwo Transportu, Innowacji i Technologii programu rządowego „Dom Przyszłości" (niem. „*Haus der Zukunft*") oraz dzięki zaangażowaniu Grupy Dostosowanych Technologii (niem. *Gruppe für Angepasste Technologien* – GrAT) z Robertem Wimmerem na czele, włożono wiele trudu, aby słomę uznano za wysoce wartościowy materiał izolacyjny. Dzisiaj powstają tam domy z kostek słomy nie przenoszących obciążeń, montowane w dużym stopniu z prefabrykatów. Warte uwagi są projekty *S-House* w Böheimkirchen (por. rozdz. 22.11) oraz dom pasywny w Tattendorf (zdjęcie 2.21, patrz rozdz. 22.24). W sumie w Austrii powstało dotychczas ponad 120 budynków z kostek słomy.

W Szwajcarii architekci i budowniczy mają relatywnie wiele wolności tworzenia. Na przykład Werner Schmidt w 2002 roku zbudował z kostek słomy przenoszących obciążenia dwukondygnacyjny budynek w Diesentis. W latach 2007-2008 koło Graun w Południowym Tyrolu zbudował nawet trzykondygnacyjny dom ze ścianami nośnymi z wielkowymiarowych kostek (por. rozdz. 22.15).

Od roku 1989 w Irlandii i Anglii działają aktywiści budowania z kostek słomy: grupa Amazon Nails pod kierownictwem Barbary Jones. W 1998 r. Barbara Jones zbudowała w Irlandii dwukondygnacyjny dom z nośnymi ścianami zewnętrznymi z kostek słomy (zdjęcie 1.2). Dziś stoi tam ponad 700 budynków z tego materiału.

W Danii, w Hurup Thy, w 1998 roku zrealizowano przy wsparciu ministerstw

2.16 SKLEPIENIE Z KOSTEK SŁOMY UŻYTYCH W FUNKCJI NIENOŚNEJ W BAD SCHUSSENRIED, NIEMCY, 2006 (PROJEKT: GERNOT MINKE)

2.17 NOŚNE SKLEPIENIE Z KOSTEK SŁOMY, TAMERA, PORTUGALIA, 2007 (PROJEKT: GERNOT MINKE)

2.18 KOPUŁA Z KOSTEK SŁOMY UŻYTYCH W FUNKCJI NIENOŚNEJ W WESTERWALD, NIEMCY, 2004 (PROJEKT: GERNOT MINKE)

2.19 DOM WIELORODZINNY „STROHPOLIS", SIEBEN LINDEN, NIEMCY, 2007 (PROJEKT: DIRK SCHAMER)

2.16

2.17

2.18

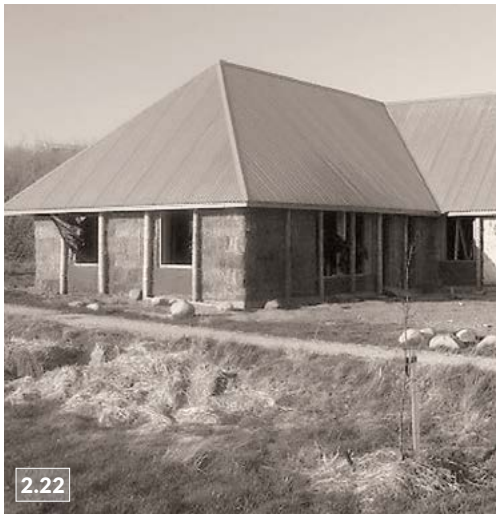
2.19

2.20 PIERWSZA KOPUŁA, W KTÓREJ KOSTKI SŁOMY SĄ ELEMENTAMI NOŚNYMI, HRUBÝ ŠÚR, SŁOWACJA (PROJEKT: GERNOT MINKE I CREATERRA)

2.21 GLINIANY DOM PASYWNY (NIEM. LEHMPASSIVHAUS) W TATTENDORF, AUSTRIA, 2006 (PROJEKT: GEORG. W. REINBERG)

2.22 BUDOWA LUDOWEGO CENTRUM ENERGII ODNAWIALNEJ, KTÓRA STAŁA SIĘ „ISKRĄ" DLA ROZWOJU BUDOWNICTWA Z KOSTEK SŁOMY W DANII, 1998

2.23 BUDYNEK BIUROWY Z NOŚNYCH, UKŁADANYCH NA RĄB, WIELKOWYMIAROWYCH KOSTEK SŁOMY, BREUBERG-RAI BREITENBACH, 2009 (PROJEKT: BENJAMIN KRICK)



budownictwa prototypowy projekt (zdjęcie 2.22), który znacząco wpłynął na rozwój budownictwa z kostek słomy w Skandynawii. Jednakże należy podkreślić, że już w 1956 r. zbudowano w Norwegii dom o konstrukcji z kostek słomy przenoszącej obciążenia (zdjęcie 2.8). Tam też pod koniec XX wieku powstało ponad 20 tego typu budynków. Najwięcej z nich zaprojektował Rolf Jacobson.

Pierwsza kopuła przenosząca obciążenia powstała według projektu Gernota Minke w roku 2010 w miejscowości Hrubý Šúr na Słowacji (zdjęcie 2.20, patrz rozdz. 22.26). W Amsterdamie zbudowano w 2007 roku pięciokondygnacyjny budynek o drewnianej konstrukcji szkieletowej z izolacją z kostek słomy (zdjęcie 2.24, patrz rozdz. 22.17), a we Francji nawet siedmiokondygnacyjny o podobnej konstrukcji (patrz rozdz. 22.35).

We Francji i w Anglii budownictwo z kostek słomy jest obecnie w rozkwicie. Według badań przeprowadzonych przez FASBA, we Francji powstało w ostatnich latach ponad 2500, a w Anglii blisko 2000 tego rodzaju domów.

Na Białorusi zbudowano dla ludzi przesiedlonych z okolic Czarnobyla całe osiedle domów z kostek słomy. Zostało ono w 2000 roku wyróżnione nagrodą *World Sustainable Energy Award*. Dzięki programom popieranym przez rząd zbudowano wtedy ok. 200 domów z kostek słomy [Wedig 1999]. Od tamtego czasu postawiono tam wiele więcej takich budynków.

2.24 PIĘCIOKONDYGNACYJNY BUDYNEK MIESZKALNY, AMSTERDAM, HOLANDIA 2007 (PROJEKT: R. DALMEIJER)

3. OD SŁOMY DO KOSTEK SŁOMY

3.1 Rodzaje słomy

Słomą nazywamy suche łodygi wymłóconego zboża (pszenicy, żyta, jęczmienia, owsa, ryżu, prosa) albo roślin włóknistych (lnu, konopi). To surowiec pochodzenia roślinnego, który powstaje przez fotosyntezę z energii słonecznej, wody i minerałów pochodzących z gleby. Składa się z celulozy, ligniny i krzemionki, a jej warstwa zewnętrzna wykazuje woskowate, hydrofobowe właściwości.

Słoma rozkłada się wolno dzięki wysokiej zawartości krzemianów. Dlatego w rolnictwie ekologicznym jest zaorywana w celu spulchnienia ziemi uprawnej. Słomę stosuje się także jako ściółkę w stajniach oraz jako dodatek do paszy w okresie zimowym. Rzadziej używana jest jako paliwo albo też do produkcji płyt słomianych.

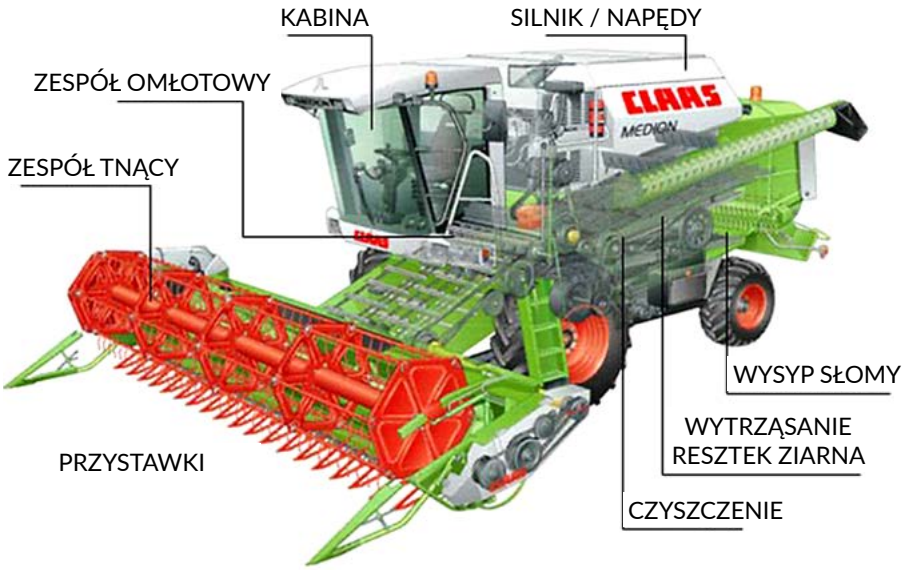
Do budowy domów nadają się przede wszystkim kostki ze słomy pszenicznej, orkiszowej i żytniej. Kostki ze słomy jęczmiennej i owsianej są mniej stabilne i przez to mniej odpowiednie do tych celów.

Od setek lat słoma służyła w Europie do krycia dachów (przy czym należy zwrócić uwagę, że do budowy strzechy najbardziej nadaje się trzcina, ze względu na jej trwałość). Od tysięcy lat słoma była też dodawana do gliny jako materiału budowlanego, w celu zwiększenia jej izolacyjności termicznej oraz dla redukcji powstawania pęknięć podczas schnięcia (więcej: Minke 2009, rozdz. 3.7.2, 9.2 i 10.3).

3.2 Produkcja kostek słomy

Sposób pozyskania i jakość słomy mają kluczowe znaczenie dla właściwości wytworzonych kostek. Jako materiał budowlany najlepsze są kostki ze słomy o długich i nieuszkodzonych łodygach.

3.1 KOMBAJN ZBOŻOWY NA PRZYKŁADZIE CLAAS MEDION (OPIS MASZYNY OD DOŁU, OD LEWEJ, ZGODNIE Z RUCHEM WSKAZÓWEK ZEGARA)



Koszenie i młócenie

Koszenie i zbieranie zbóż kombajnem następuje wtedy, gdy rośliny osiągają dojrzałość martwą, tzn. ziarno jest już twarde i suche, a łodygi żółte i kruche (zdjęcie 3.1). Zboże ścinane jest tuż nad ziemią przez (nawet 10-metrowy) zespół tnący, a następnie transportowane do zespołu omłotowego. Ze względu na sposób przenoszenia słomy rozróżniamy dwa rodzaje kombajnów: o zasilaniu stycznym lub o zasilaniu osiowym zespołu młócącego. W kombajnie ze stycznym zasilaniem zboże jest podawane między bębnem młócącym i klepiskiem. Przymocowane do bębna listwy uderzają w słomę i wyłuskują ziarno z kłosów. Im mniejszy jest dystans między klepiskiem i bębnem, tym więcej ziaren wydostaje się z kłosów ale też struktura łodyg ulega większemu zniszczeniu [Büermann 1999]. Po przejściu przez młockarnię zboże dostaje się na wytrząsacze, gdzie pozostałe ziarno oddzielane jest od słomy. Ziarno wpada do zbiornika, a słoma wypada z tyłu kombajnu i tworzy sterty, tzw. pokosy. Niektóre wielkie i nowoczesne kombajny

zbożowe pracują z osiowymi zespołami młócącymi. Tu zboże nie jest bezpośrednio transportowane do bębna, lecz podczas młócenia wielokrotnie obracane. Listwy uderzające wytrącają w tym czasie ziarno z kłosów. Jest to proces młócenia łagodniejszy dla ziaren, ale słoma jest tak uszkodzona, że pozostaje z niej jedynie sieczka [por. Kunze, 1987]. Można spotkać także kombinacje obu systemów, gdzie zespoły osiowe przejmują funkcję wytrząsaczy. Efektem pracy takich maszyn jest jednak słoma o porównywalnej jakości, jak z kombajnów osiowych.

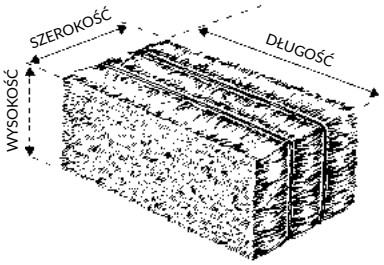
Ponieważ nienaruszone łodygi zbóż wpływają pozytywnie na wytrzymałość kostek słomy stosowanych w budownictwie, należy używać słomy skoszonej przez kombajny o stycznym zasilaniu zespołu młócącego. Dotyczy to przede wszystkim budowli, gdzie kostki słomy będą elementami nośnymi.

Prasowanie słomy w kostki

Do produkcji kostek słomy dla celów budowlanych nadają się prasy kostkujące, wytwarzające małe kostki (niem. *Kleinballenpressen*) oraz te wytwarzające duże/wielkogabarytowe kostki (niem. *Quaderballenpressen*).

Bele słomy o kształcie walca można poddać ponownemu procesowi prasowania. Wysokość i szerokość kostki słomianej jest wyznaczona przez wielkość kanału prasy i jest niezmienna. Długość natomiast jest regulowana w określonych granicach. W tabeli 3.3 przedstawiono typowe wymiary kostek.

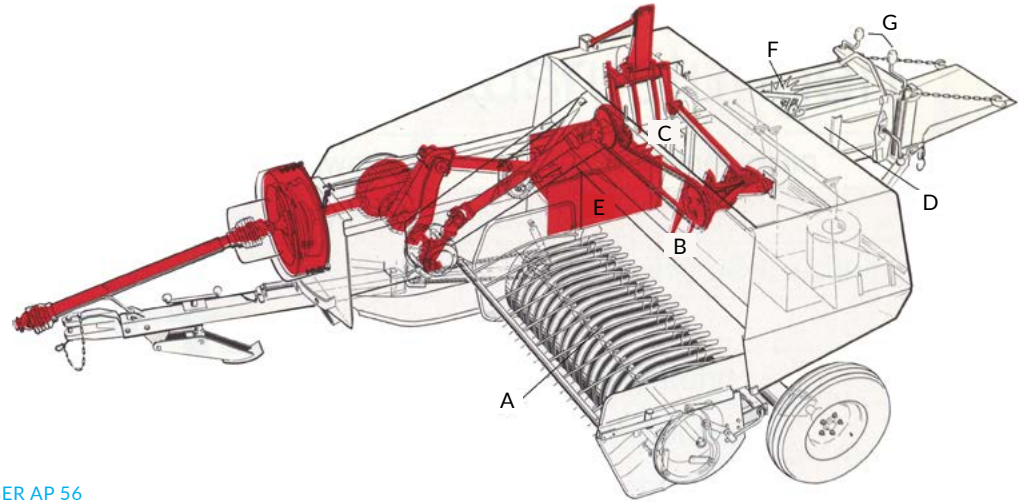
Według danych producentów przy pomocy pras do małych kostek (zdjęcia 3.3) można produkować kostki o gęstości do 120 kg/m3. Wymiary kostek wahają się, w zależności od producenta, w okolicach 36×49×50 do 130 cm. Ich charakterystyczną cechą jest



3.2 WYMIARY KOSTEK SŁOMY [LACINSKI, BERGERON, 2000]

PRASA	WYMIARY KOSTEK [cm]		
	WYSOKOŚĆ	SZEROKOŚĆ	DŁUGOŚĆ
PRASA DO MAŁYCH KOSTEK	31 (30)	41 (40)	30-120
	36	49 (48)	50-120
PRASA DO DUŻYCH KOSTEK	50	80	70-240
	70	80	120-250
	70	120	90-300
	90	120	100-270
	100	120	100-300
	130	120	100-270

TABELA 3.1
TYPOWE WYMIARY KOSTEK



3.3 PRASA DO MAŁYCH KOSTEK WELGER AP 56

3.4 ZBYT LUŹNA KOSTKA

3.5 MOCNO SPRASOWANA KOSTKA

3.4

3.5

też, oprócz niewielkich rozmiarów, wiązanie dwoma sznurkami. Małe prasy wysokiego zgniotu (niem. *HD-Ballenpresse*) stosowane są dzisiaj przede wszystkim w małych gospodarstwach rolnych. Sprzedaż tych urządzeń mocno spada. Wielu producentów przestawia się na produkcję pras do dużych kostek i pras rolujących.

Prasy do dużych kostek prostopadłościennych (niem. *Quaderballenpressen, Q-Ball-enpressen, Großballenpressen, Großpackenpressen* – zdjęcie 3.6) to najnowsza technologia w tej branży. Dzięki odpowiednim maszynom można osiągać gęstość do 220 kg/m³ przy wymiarach kostek między 80-120×70-130×80-300 cm. Kostki są cztero- albo nawet sześciokrotnie wiązane. Prasy takie stosowane są przede wszystkim w dużych gospodarstwach rolnych, spółdzielniach rolniczych albo przez firmy wynajmujące sprzęt czy świadczące usługi. W USA powszechne są tzw. kostki 3-sznurkowe (ang. *3-string-bale*). Są to trzykrotnie wiązane kostki o wymiarach np. 41×56×46-132 cm.

3.3 Kostki słomy dla budownictwa. Zapewnienie jakości.

Kostki słomy stosowane w budownictwie muszą mieć następujące właściwości:

- wiązanie sznurkiem z tworzywa sztucznego lub drutem;
- możliwie małe zaokrąglenia na końcach;
- możliwie nieuszkodzone łodygi (zboże zbierane z pól przy pomocy kombajnów o zasilaniu stycznym);
- złoto-żółty kolor (nie szary ani czarny);
- bez stęchłego zapachu;
- jednolitą strukturę, mocne związanie i kompresję;
- relatywną wilgotność powietrza w kostkach mniejszą niż 75% (co odpowiada wilgotności masowej poniżej 15%);
- gęstość co najmniej 90 kg/m³, dla konstrukcji nośnych minimum 110 kg/m³.

Dla zapewnienia nieuszkodzonej struktury łodyg należy w czasie żniw stosować kombajny o stycznym zasilaniu zespołu młócącego, bez dodatkowego bębna wytrząsającego ziarno. Skoszona słoma nie powinna pozostawać na deszczu. Po zmoczeniu i wyschnięciu słoma staje się łamliwa, a utrzymująca się wilgoć może sprzyjać powstawaniu grzybów i zgnilizny oraz zagnieżdżeniu się niepożądanych mikroorganizmów.

Pomimo że wiązanie kostek sznurkiem sizalowym należy ocenić ze względów ekologicznych pozytywnie, to badania obciążeniowe wykazały, iż wytrzymałość naturalnego sznura nie jest wystarczająca. Jeśli krawędzie kostek są ostre, a ich końce nie są zaokrąglone (patrz zdjęcia 3.4 i 3.5), to w czasie budowy zaoszczędzimy wiele czasu przy równym układaniu kostek i wypełnianiu szczelin. Luźne kostki z zaokrąglonymi krawędziami przed ich wbudowaniem wymagają pracochłonnej obróbki. Niezbędne prace to: strzyżenie (wyrównanie końców), obcięcie wystających łodyg przed tynkowaniem, a ewentualnie także ponowne zagęszczenie.

3.6 PRASA DO DUŻYCH KOSTEK CLAAS 3400

Przy prasowaniu słomy w kostki obowiązują następujące reguły (rys. 3.6):

- pokosy (wałki) powinny być układane równomiernie („pokos równomierny – rezultat rzetelny”);
- korby regulujące zagęszczenie muszą być mocno przykręcone („korby mocne dokręcanie – dobre sprasowanie”);
- wbudowanie bocznego zwężenia zwiększa gęstość kostek o ok. 4% na każdy centymetr („kanału zawężenie – gęstości zapewnienie”);
- wlot prasy powinien być zawsze pełny („wlot pełny – sukces zupełny”);
- przejazd podczas zbierania pokosu winien odbywać się z możliwie dużą, równomierną prędkością na możliwie niskim biegu („szybkie jeżdżenie – kostki utwardzenie”).

Aby kostki słomy można było stosować w budownictwie, muszą one odpowiadać następującym warunkom:

1. Kontrola wzrokowa: kostki nie nadają się, gdy:

a. wiązanie jest wykonane z włókien naturalnych;
b. kostki mają przebarwienia;
c. krawędzie są mocno zaokrąglone;
d. kostki zawierają prócz słomy dużo chwastów;

Chwasty są z reguły wilgotniejsze, mniej stabilne i mogą stać się zarodkiem dla pleśni.

2. Kontrola dotykowa i zapachowa: kostka nie nadaje się, jeśli w dotyku jest wilgotna i ma zbutwiały zapach.

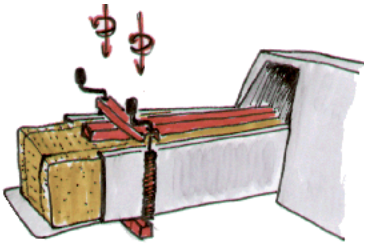
3. Test obciążeniowy: stanie na płasko leżącej kostce nie powinno sprawiać trudności, nogi nie mogą się zapadać, a podczas wykonywania ruchów słoma nie powinna się przesuwać. Sznur nie powinien się poluzować.

4. Test wilgotnościowy: Sensor higrometru należy wetknąć do środka kostki (zdjęcie 4.9). Wilgotność względna powietrza w kostkach nie powinna przekraczać 75% (odpowiada to względnej wilgotności masy słomy ok. 15%).

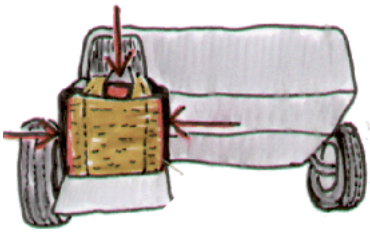
5. Gęstość: gęstość kostek stosowanych w funkcji nienośnej powinna wynosić min. 90kg/m^3, a dla kostek stosowanych jako nośne – nie mniej niż 110kg/m^3.

6. Kostki słomy powinny być magazynowane w miejscach suchych. Oznacza to, że nie należy kłaść ich na wilgotnej ziemi i trzeba chronić je przed deszczem. Na budowie najlepiej składować kostki na paletach.

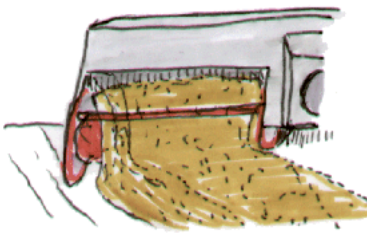
POKOS RÓWNOMIERNY – REZULTAT RZETELNY



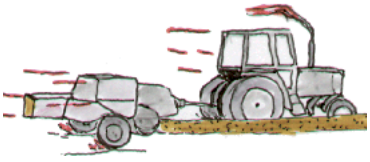
KORBY DOKRĘCANIE - DOBRE SPRASOWANIE



KANAŁU ZAWĘŻENIE– GĘSTOŚCI ZAPEWNIENIE



WLOT PEŁNY – SUKCES ZUPEŁNY

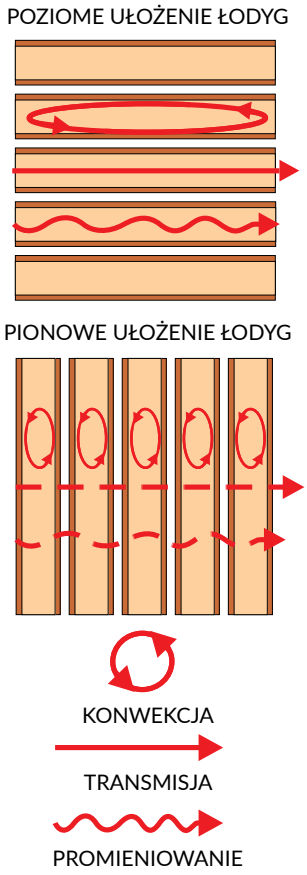


SZYBKIE JEŻDŻENIE – KOSTKI UTWARDZENIE

3.7 PIĘĆ PROSTYCH ZASAD PRODUKCJI DOBRZE SPRASOWANYCH KOSTEK

4. WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE

4.1 Przewodność i izolacyjność cieplna



4.1 PRZEWODNOŚĆ CIEPLNA W ZALEŻNOŚCI OD KIERUNKU UŁOŻENIA ŁODYG

Transport ciepła odbywa się poprzez trzy mechanizmy: *promieniowanie*, *konwekcję* i *przewodnictwo*. Podczas gdy *promieniowanie ciepła* przenosi energię w formie fali elektromagnetycznej i przenika przez przepuszczające światło materiały oraz przez próżnię, to przewodnictwo i konwekcja związane są z odpowiednimi nośnikami.

Przewodnictwo cieplne to transport ciepła przez materiał. Tu obowiązuje zasada: im ten materiał jest gęstszy, tym lepiej przewodzi ciepło oraz im jest lżejszy tym mniejszą ma przewodność, tzn. tym większą ma izolacyjność.

Konwekcja to przenoszenie ciepła przez „ruchome" medium, w którym tworzą się prądy konwekcyjne (np. powietrze albo woda).

Aby móc obliczyć izolacyjność cieplną jakiegoś fragmentu budowli, trzeba znać przewodność cieplną materiału oraz grubość elementu. Przewodność cieplną określa się współczynnikiem lambda (λ), którego jednostką jest *W/(m·K)*. Wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ = *2W/(m·K)* oznacza, że przez ścianę o powierzchni 1 m² i grubości 1 m przy różnicy temperatury między dwiema stronami ściany wynoszącej 1 K, będzie przeniesiona energia cieplna o wielkości 2 watów. W kostkach słomy przewodność cieplna zależna jest od ułożenia łodyg w stosunku do kierunku przepływu strumienia ciepła. Jeżeli kierunek przepływu ciepła przebiega równolegle do łodyg, to przewodność jest wyższa, niż kiedy strumień jest prostopadły do łodyg. Rysunek 4.1 przedstawia dokładniej tę zależność.

Niemiecka aprobata techniczna dla kostek słomy określa następujące wartości obliczeniowe współczynnika przewodzenia ciepła:

- Przepływ ciepła równolegle do łodyg:
  λ = *0,080 W/(m·K)*
- Przepływ ciepła prostopadle do łodyg:
  λ = *0,052 W/(m·K)*

W porównaniu do materiałów izolacyjnych z tworzyw sztucznych albo z wełną mineralną, wykazujących wartości λ od *0,024* do *0,045 W/(m·K)*, jest to wynik mniej korzystny, ale w porównaniu do wartości dla drewna iglastego, λ = *0,13 W/(m·K)*, jest bardzo korzystny.

Od przewodności cieplnej do współczynnika *U*

Współczynnik przenikania ciepła *U* dla ściany określa, ile energii cieplnej, przy różnicy temperatur 1 kelvina, będzie transportowanej przez powierzchnię ściany o wielkości 1 m². Im niższa wartość *U*, tym mniej jest transportowanej energii i tym

GRUBOŚĆ d WARSTWY ŚCIANY SŁOMY [m]	WSPÓŁCZYNNIK U DLA ŚCIANY [W/(m²·K)]
PRZEPŁYW CIEPŁA PROSTOPADLE	
0,31	0,16
0,36	0,14
0,50	0,10
0,70	0,07
0,90	0,06
1,00	0,05
1,30	0,04
PRZEPŁYW CIEPŁA RÓWNOLEGLE	
0,41	0,19
0,49	0,16
0,80	0,10
1,20	0,07

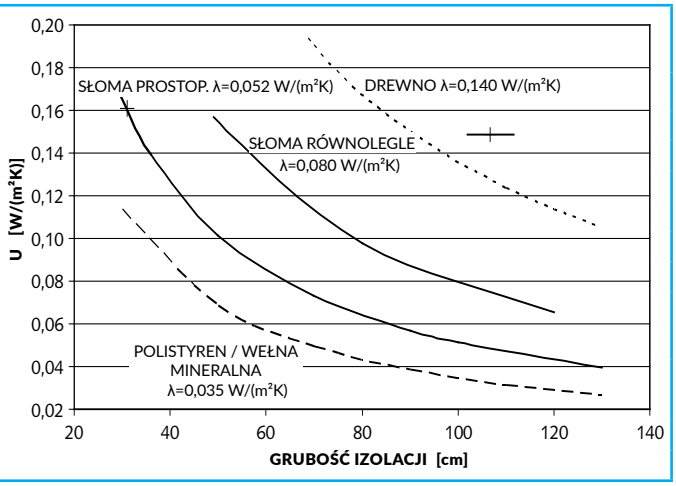


TABELA 4.1
WARTOŚĆ U DLA ŚCIAN Z KOSTEK SŁOMY W ZALEŻNOŚCI OD GRUBOŚCI WARSTWY SŁOMY ORAZ UŁOŻENIA ŁODYG

mniejsze są koszty ogrzewania. Dlatego też należy dążyć do możliwie najniższej wartości U dla przegród zewnętrznych budynku.

Wartość U dla ściany składającej się z n warstw oblicza się na podstawie wzoru:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \ldots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se}}$$

gdzie:

- U współczynnik przenikania ciepła [$W/(m^2K)$]
- R_{si} opór przenikania ciepła na powierzchni wewnętrznej [$m^2 \cdot K/W$]
- d_1 grubość pierwszej warstwy [m]
- λ_1 wartość przewodności cieplnej pierwszej warstwy [$W/(m \cdot K)$]
- d_n grubość n-tej warstwy [m]
- λ_n wartość przewodności cieplnej n-tej warstwy [$W/(m \cdot K)$]
- R_{se} opór przenikania ciepła na powierzchni zewnętrznej [$m^2 \cdot K/W$]

Tabela 4.1 podaje wartości U dla konstrukcji ściennych z kostek słomy o następującej strukturze (warstwy od wewnętrznej do zewnętrznej): 4 cm tynku glinianego, kostki słomy, 2 cm tynku glinianego, deskowanie wentylowane.

Grubość warstwy słomianej odwzorowuje grubości dostępnych kostek słomy. Wykres przedstawia porównanie tych wartości z wartościami dla konwencjonalnych materiałów izolacyjnych i drewna, uzyskanymi przy tych samych grubościach warstw.

4.2 Pojemność cieplna

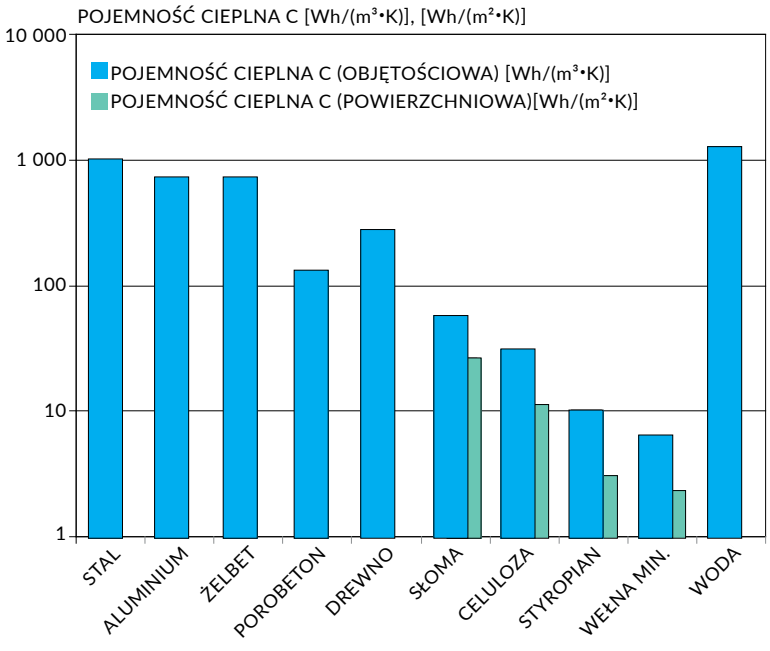
Dla większości materiałów budowlanych obowiązuje zasada: im większa ich gęstość, tym lepiej magazynują ciepło, ale także lepiej go przewodzą. Im lżejszy jest materiał budowlany, tym lepsza izolacyjność, ale też mniejsza zdolność do akumulacji ciepła.

Ta praktyczna zasada obowiązuje jednak tylko w przybliżeniu. Materiały organiczne przy takiej samej gęstości gromadzą dwa razy więcej ciepła niż mineralne (a woda nawet czterokrotnie więcej).

Każdy materiał posiada typowe dla niego ciepło właściwe c. Ciepło właściwe jest stałą materiałową wyrażaną w $kJ/(kg \cdot K)$.

TABELA 4.2
CIEPŁO WŁAŚCIWE I POJEMNOŚĆ CIEPLNA RÓŻNYCH MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

CIEPŁO WŁAŚCIWE c [kJ/(kg·K)]	
METALICZNE NP. ALUMINIUM STAL	0,90 0,45
MINERALNE	OK. 1,00
ORGANICZNE	OK. 2,00
WODA	4,20
POJEMNOŚĆ CIEPLNA C [Wh/(m³·K)]	
STAL	988
ALUMINIUM	675
ŻELBET	694
POROBETON	125
DREWNO	278
SŁOMA (110 kg/m³)	56
CELULOZA (55 kg/m³)	29
STYROPIAN (18 kg/m³)	10
WEŁNA MINERALNA (27 kg/m³)	6
WODA	1167
C [Wh/(m²·K)] PRZY U= 0,15 W/(m²·K)	
SŁOMA (110 kg/m³)	19,3
CELULOZA (55 kg/m³)	7,7
POLISTYREN (18 kg/m³)	2,3
WEŁNA MINERALNA (27 kg/m³)	1,6



Pojemność cieplną C (mierzoną w kJ/K) jakiegoś ciała o określonej objętości wyliczamy ze wzoru:

$$C = c \cdot \rho \cdot V$$

gdzie:

- c typowe dla danego materiału ciepło właściwe w $[kJ/(kg \cdot K)]$
- ρ gęstość materiału $[kg/m^3]$
- V objętość ciała $[m^3]$

Aby obliczyć ilość ciepła Q zmagazynowanego w jakimś ciele, w celu jego wykorzystania należy pojemność cieplną C pomnożyć przez różnicę temperatury między tym ciałem i otoczeniem:

$$Q = C \cdot \Delta T \; [kJ]$$

gdzie:

- C pojemność cieplna danego ciała $[kJ/K]$
- ΔT różnica temperatur między ciałem i otoczeniem w $[K]$

Dla przeliczenia Q $[Wh]$:

$$3{,}6\ kJ = 1\ Wh \text{ lub } 1\ kJ = 1/3{,}6\ Wh$$

Tabela 4.2 pokazuje, że słoma w porównaniu z innymi materiałami izolacyjnymi posiada bardzo dobrą pojemność cieplną, choć w zestawieniu z konstrukcyjnymi materiałami budowlanymi wypada skromnie. Przykładowo, ściana o konstrukcji szkieletowej drewnianej albo więźba dachowa przy zastosowaniu kostek słomy jako izolacji osiągnie wartość współczynnika przenikania ciepła $U = 0{,}15\ W/(m^2 \cdot K)$ oraz dziesięć razy większą pojemność cieplną niż przy użyciu wełny mineralnej. Komfort termiczny w takim domu znacząco wzrośnie.

W porównaniu z budownictwem masywnym, lekką konstrukcję izolowaną kostkami słomy cechuje znacznie mniejsza pojemność cieplna (przy założeniu takiej samej wartości U).

Aby poprawić pojemność cieplną ściany z kostek słomy, należy wykonać tynk wewnętrzny z gliny z dużym dodatkiem piasku i drobnego żwiru. Tynk o ciężarze objętościowym od 1900 do 2100 kg/m³ i grubości 3-6 cm przyczynia się do łagodzenia przebiegu zmian temperatury. Dla zapewnienia większej pojemności cieplnej ścian oraz polepszenia klimatu wnętrza zaleca się dodatkowo budowanie ścian wewnętrznych o grubości 11,5 cm z cegieł glinianych, ceramicznych albo silikatowych. Cegły gliniane pokryte takim samym tynkiem bardzo pozytywnie wpływają także na równowagę wilgotności w pomieszczeniu (por. rozdz. 4.4).

4.3 Mostki termiczne

Mostki cieplne to słabe termicznie punkty w bryle budynku. W tych fragmentach budowli traci się więcej ciepła niż w sąsiednich miejscach tzn. izolacja termiczna działa tam gorzej. Poprzez słabszą izolację w okolicach mostków termicznych, temperatura powierzchni wewnętrznych tych części budynku (przy niskiej temperaturze zewnętrznej) jest niższa niż obok. Może to prowadzić do skraplania się tam wody i w konsekwencji do pojawienia się grzybów pleśniowych. Dodatkowo, większa wilgotność powoduje dalsze pogorszenie izolacji termicznej, skutkiem czego problem się zaostrza.

Mostki termiczne w ścianach z kostek słomy powstają np. poprzez niewypełnione szczeliny między kostkami oraz w miejscach połączeń ze stolarką okienną i drzwiową. Również sama konstrukcja drewniana może stanowić mostek termiczny, ponieważ przewodność cieplna drewna jest dwu- a nawet trzykrotnie większa niż kostek słomy. Dlatego należy unikać lub przynajmniej redukować zakres stosowania takich rozwiązań konstrukcyjnych, w których elementy drewniane całkowicie przechodzą przez całą szerokość ściany z kostek słomy.

4.4 Ochrona przed wilgocią i zachowywanie się konstrukcji z kostek słomy w środowisku wilgotnym

Elementy budynku należy zawsze chronić przed zawilgoceniem, aby zapobiec uszkodzeniom konstrukcji przez pleśń. Zbyt duża wilgotność może być konsekwencją zacinania deszczu na ścianę zewnętrzną, podciągania kapilarnego wilgoci z podłoża albo też kondensacji wilgoci pochodzącej z wnętrzu budynku.

Izolacja pozioma przeciw podciąganiu kapilarnemu

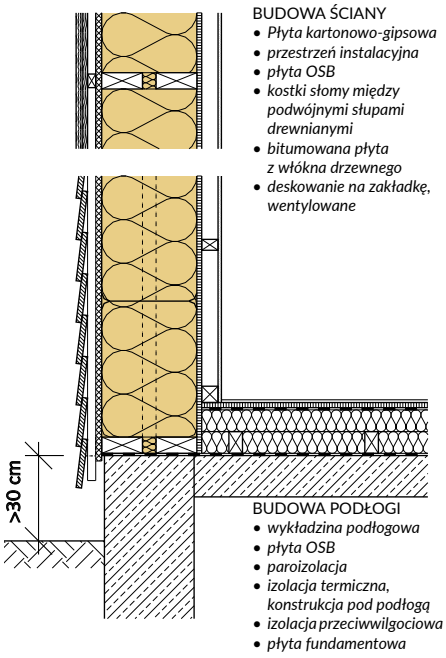
W Niemczech transportowi wilgoci z ziemi do budowanych ścian zapobiega się przez poziomą warstwę izolacji niezależnie od rodzaju budowli. Przegrodą jest z reguły powłoka bitumiczna, z tworzywa sztucznego albo metalu.

Ochrona przed odpryskującą wodą deszczową

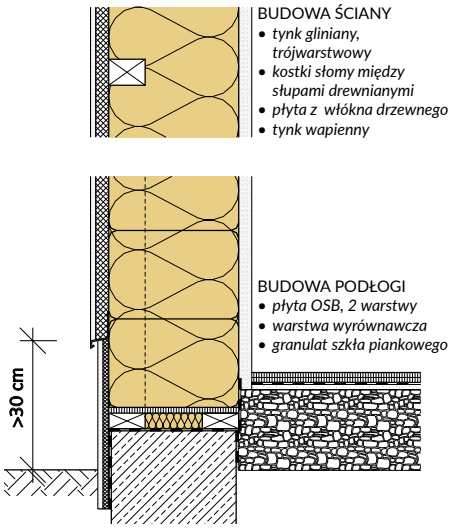
Konstrukcje ścienne muszą zawsze być chronione przed wodą bryzgową na wysokość co najmniej 30 cm ponad powierzchnię poziomą (grunt, płaski dach itp.). Przy budowie ścian z kostek słomy należy więc pierwszą warstwę położyć powyżej tej wysokości (rys. 4.2). Jako alternatywę można stosować ochronę przed wodą bryzgową w formie płyt albo specjalnego tynku (rys. 4.3). Niebezpieczeństwo powodowane tym rodzajem wody można zredukować poprzez opaskę wypełnioną piaskiem lub żwirem albo poprzez gęste nasadzenie niskich roślin (rys. 4.5). Twarda, gładka powierzchnia z płyt (np. chodnikowych) przed ścianą jest niekorzystna (rys. 4.4).

Ochrona przed wpływami atmosferycznymi

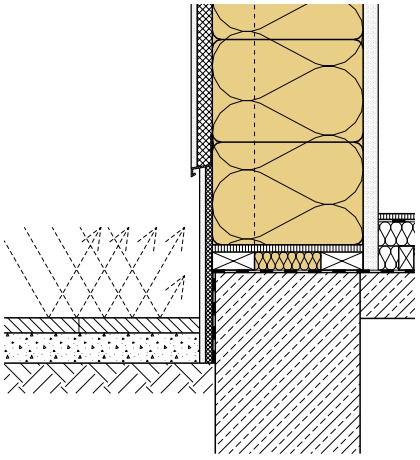
Ściana z kostek słomy musi być chroniona przed deszczem, gradem i wiatrem tak, jak każda inna ściana. Warstwą ochronną może być odporny na wpływy atmosferyczne i wykonany bez pęknięć i rys tynk albo, jeszcze lepiej, wentylowane deskowanie (por. rozdz. 17).



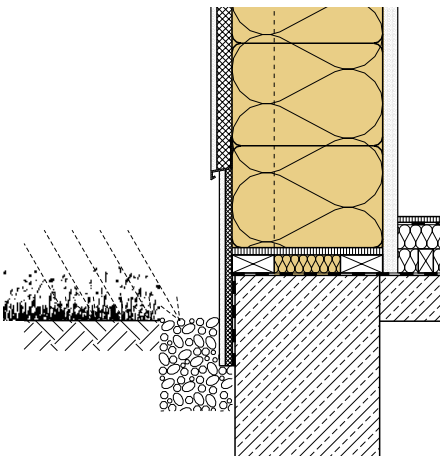
4.2 STREFA ZAGROŻONA WODĄ BRYZGOWĄ BEZ KOSTEK (PRZEKRÓJ PIONOWY NA DOLE, POZIOMY U GÓRY)



4.3 STREFA ZAGROŻONA WODĄ BRYZGOWĄ Z CHRONIONYMI KOSTKAMI (PRZEKRÓJ PIONOWY NA DOLE, POZIOMY U GÓRY)



4.4 DZIAŁANIE WODY BRYZGOWEJ PRZY NAWIERZCHNI Z PŁYT



4.5 OGRANICZENIE DZIAŁANIA WODY BRYZGOWEJ

Higroskopijność słomy

Higroskopijność oznacza zdolność materiału do pobierania i oddawania wody pochodzącej z wilgotnego powietrza.

Względna wilgotność powietrza φ jest zdefiniowana jako stosunek między aktualną zawartością wilgoci w powietrzu (w g wody na m^3) a maksymalną jej zawartością, kiedy powietrze jest całkowicie nasycone (również w g wody na m^3). Wilgotność względna podawana jest w procentach .

Wilgotność względna o wartości 1, inaczej 100%, oznacza całkowite nasycenie powietrza wodą. Już więcej wilgoci powietrze nie może wchłonąć. Im powietrze jest cieplejsze, tym więcej może wody przyjąć. Jeżeli powietrze zaczniemy schładzać, to podniesie się jego wilgotność względna do wartości maksimum 1 (100%). Przy dalszym schłodzeniu powstanie woda kondensacyjna, tzn. H_2O wystąpi w postaci płynnej.

Podczas długotrwałego magazynowania jakiegoś materiału w stałej temperaturze i przy stałej wilgotności względnej powietrza, ustabilizuje się w nim typowa dla tego materiału zawartość wody, nazywana wilgotnością równowagi u [g/g]. Według DIN EN ISO 12571 (2000) definiuje się ją:

$$u = \frac{m - m_0}{m_0}$$

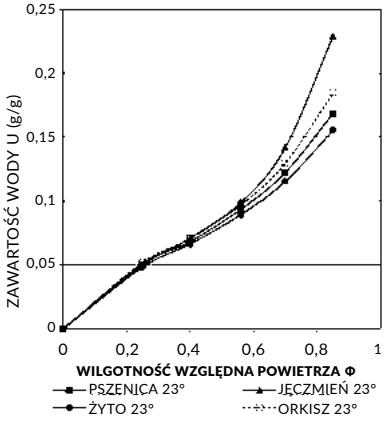
gdzie:

- m oznacza masę ciała wilgotnego,
- m_0 masę całkowicie suchego.

Zjawisko wchłaniania wody z powietrza przez jakiś materiał nazywamy *adsorpcją*, a jej oddawanie *desorpcją*. Oba procesy określa się mianem *sorpcji*.

Wilgotność równowagi danego materiału przy stałej temperaturze i różnej wilgotności powietrza przedstawia typowa dla tego materiału izoterma sorpcji. Przy pomocy tej izotermy można określić zawartość wilgoci w materiale na podstawie (technicznie prostego) pomiaru wartości wilgotności względnej powietrza wokół lub wewnątrz próbki materiału, jeżeli znajduje się ona w stanie równowagi z otaczającym powietrzem.

Rys. 4.6 pokazuje izotermy sorpcji dla pszenicy, żyta, jęczmienia i orkiszu w temperaturze 23°C. Dokładne krzywe – patrz rys. 4.8.



4.6 IZOTERMY SORPCJI PSZENICY, JĘCZMIENIA, ŻYTA I ORKISZU PRZY TEMPERATURZE 23°C (ZMIENIONO WEDŁUG [KRICK 2008])

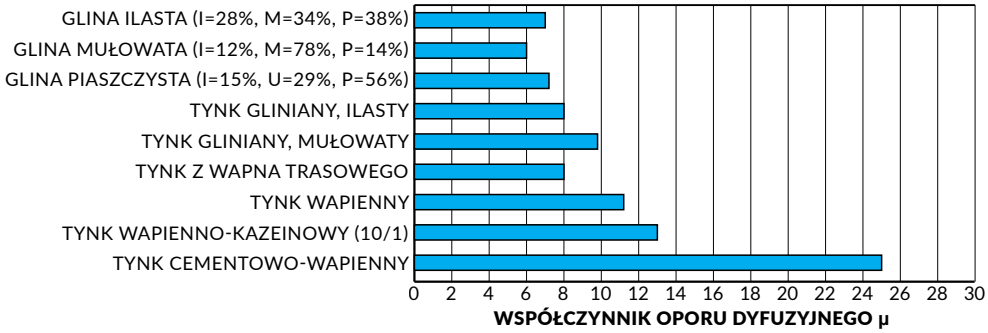
Dyfuzja pary wodnej i tworzenie się wody kondensacyjnej

W naszym klimacie spadek ciśnienia pary wodnej przebiega od ogrzewanego wnętrza budynku na zewnątrz. Z tego powodu para wodna zawarta w powietrzu wewnątrz budynku szuka (zgodnie z prawami fizyki) drogi na zewnątrz, poprzez przegrodę budowlaną. Proces ten określany jest jako dyfuzja pary wodnej.

Opór, jaki stawia materiał przy przenikaniu przez niego pary wodnej zawartej w powietrzu, jest zależny od współczynnik oporu dyfuzyjnego μ [-] i grubości materiału. Wartość μ zależy od gęstości i struktury porów danego materiału.

Iloczyn współczynnika oporu przenikania μ materiału budowlanego i grubości warstwy elementu s wyznacza istniejący opór dyfuzji pary wodnej, który określa się poprzez równoważnik przenikania warstwy powietrza sd [m]. Powietrze ma współczynnik oporu dyfuzyjnego $\mu = 1$ i tym samym warstwa materiału o $sd = 10\ m$ odpowiada, pod względem oporu przenikania pary wodnej, warstwie powietrza o grubości 10 m.

Jako uproszczoną zasadę można przyjąć, że opór dyfuzji pojedynczych warstw ściany powinien się zmniejszać w kierunku na zewnątrz budynku tak, aby w warstwie o większej gęstości nie doszło do zatoru. Jeżeli warstwa szczelniejsza dyfuzyjnie jest na zewnątrz, np. ściana z kostek słomy jest wytynkowana od środka gliną, na zewnątrz zaś pokryta tynkiem cementowym, to przenikająca para wodna napotyka na zwiększony opór tynku cementowego, co może doprowadzić do pojawienia się zwiększonej ilości wody kondensacyjnej na jego wewnętrznej stronie (wartość μ dla tynku glinianego wynosi 6-8, a dla cementowego 20-30) (por. rys. 4.7). Nawet przy tynku wewnętrznym dwu- albo trzykrotnie grubszym opór dyfuzji pary wodnej tynku zewnętrznego będzie dalej znacznie większy. Tynk zewnętrzny wapienny o wartości $\mu = 10$ jest z całą pewnością lepszym rozwiązaniem. Jako alternatywę można zastosować na wewnętrznym tynku glinianym, hamującą dyfuzję powłokę malarską, która podwyższy opór dyfuzji pary wodnej. Współczynnik $\mu = 2$ dla kostek słomy to



4.7 WSPÓŁCZYNNIKI μ TYNKÓW

wartość porównywalnie mała (według aprobaty technicznej [AbZ]).

Wilgotność bezwzględna w kostkach słomy powinna zasadniczo wynosić mniej niż 15%. Krótkotrwale podwyższona wilgotność nie prowadzi do gnicia.

W pomieszczeniach, gdzie wilgotność względna może podnieść się nawet ponad 70%, przykładowo w łazienkach, może być wskazane podwyższenie oporu dyfuzji tynku wewnętrznego poprzez dodanie do niego odpowiednich środków np. pokostu lnianego albo przez pokrycie go hamującą przenikanie pary wodnej powłoką malarską z farby lateksowej lub pokostu (por. rozdz. 11.3 i 11.4).

Stosowanie paroizolacji np. z folii w ścianie przepuszczającej parę (przykładowo otynkowanej z zewnątrz tynkiem wapiennym albo zabezpieczonej deskowaniem wentylowanym) nie jest zasadniczo potrzebne.

Warto zaznaczyć, że w odniesieniu do wczesnych budynków z USA nie spotyka się relacji o szkodach powodowanych przez wilgoć lub wodę kondensacyjną, pomimo że tynkowano je cementem i nie stosowano paroizolacji. Prawdopodobnie woda kondensacyjna pojawiała się, lecz dzięki korzystnym warunkom klimatycznym w tak niewielkich ilościach, że w okresie odparowywania następowała dalsza dyfuzja na zewnątrz. Dlatego też woda nie powodowała żadnych szkód, np. pleśni.

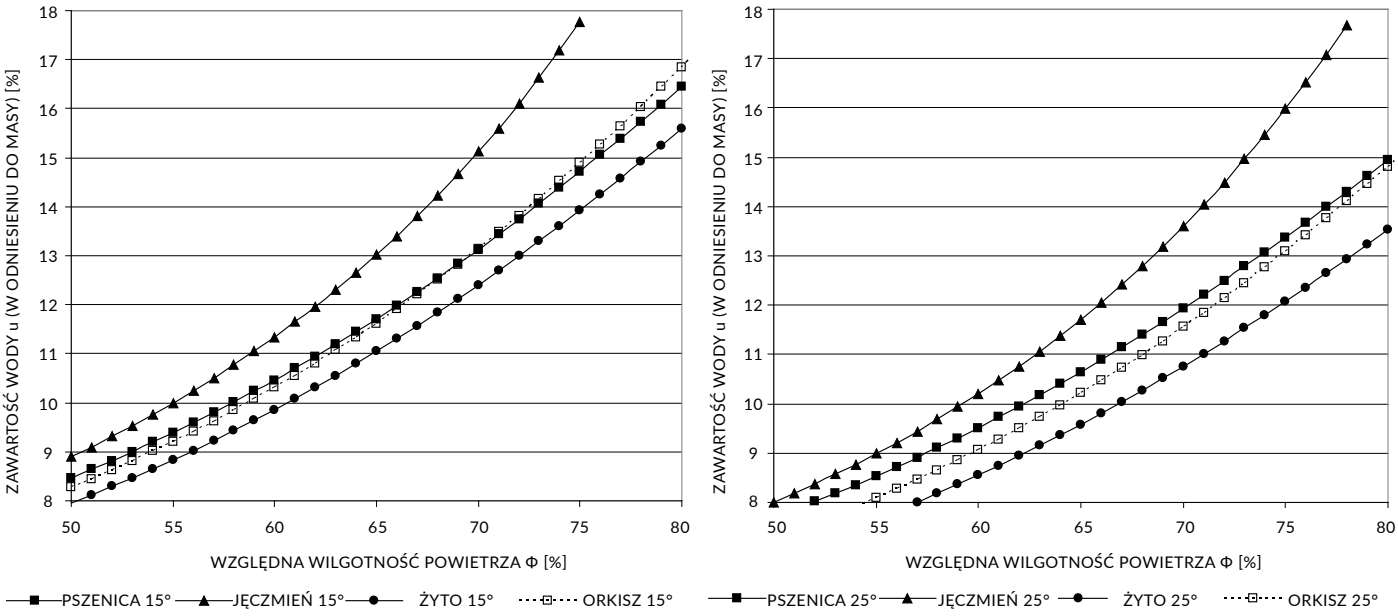
Pomiary wilgotności

Z uwagi na niejednorodność kostek słomy, precyzyjne określenie zawartości wilgoci możliwe jest tylko poprzez ich ważenie przed i po wysuszeniu. Wystarczająco dokładny pomiar można uzyskać przy pomocy izoterm sorpcji. Odpowiednie izotermy sporządził Krick [2008], por. rys. 4.8. Aby określić wilgotność kostki słomy na podstawie izotermy sorpcji, należy najpierw zmierzyć wilgotność względną powietrza oraz temperaturę w środku kostki przy pomocy odpowiedniego czujnika. Do tego celu można użyć higrometru używanego w rolnictwie albo higrometru z zewnętrznym czujnikiem, dostępnego w handlu dla celów domowych. Zdjęcie 4.9 przedstawia taki właśnie higrometr, którego zewnętrzny sensor, po przedłużeniu kabla, umieszczono w długim szpikulcu. Wynik nanosimy na oś X wykresu 4.8. Wilgotność kostki odczytujemy na osi Y, korzystając z izotermy sorpcji odpowiedniego rodzaju słomy. Wykresy dotyczą temperatur 15°C albo 25°C. Przy innych temperaturach należy zastosować interpolację liniową.

Warunki powstawania grzybów pleśniowych

Jak na wszystkich organicznych materiałach budowlanych, tak i na kostkach słomy mogą rosnąć grzyby pleśniowe powodujące proces rozkładu. Dzieje się tak tylko wtedy, gdy grzyby mają sprzyjające warunki, tj. dużą wilgotność powietrza i odpowiednią temperaturę.

Grzyby pleśniowe mogą rozkładać materiały organiczne, doprowadzać do szkód budowlanych i wydzielać substancje toksyczne. Mogą też powodować grzybice, mikotoksykozy i alergie [Sedlbauer 2001]. Jednakże nie wszystkie są tak niebezpieczne. Grzyby pleśniowe rozwijają się w przedziale temperatury od 0 do 50°C [Sedlbauer 2001]. Przy tym prędkość wzrostu masy biologicznej jest uwarunkowana temperaturą i osiąga maksimum między 20 a 30*C, w zależności od rodzaju grzybów. O tym, czy zarodniki pleśni się rozwiną, w wielu przypadkach decyduje niewielka różnica temperatury. Po zakiełkowaniu i początkowym wzroście grzybni, grzyby pleśniowe



4.8 IZOTERMY SORPCJI PSZENICY, JĘCZMIENIA, ŻYTA I ORKISZU PRZY TEMPERATURZE 15°C (PO LEWEJ) ORAZ 25°C (PO PRAWEJ) (WEDŁUG [KRICK 2008])

stają się dość odporne na niedogodną temperaturę. Jeżeli temperatura staje się dla nich nieodpowiednia, to grzyby nie rosną tak szybko albo wręcz przestają się powiększać. Kiedy temperatura się podwyższy, grzyby stają się znowu aktywne. Decydującym kryterium wzrostu grzybów pleśniowych jest odpowiednia wilgotność. W praktyce można przyjąć, że ich wzrost przy względnej wilgotności powietrza poniżej 70% nie występuje.

4.9 HIGROMETR DO MIERZENIA WILGOTNOŚCI I TEMPERATURY W KOSTKACH SŁOMY

Materiały budowlane podzielono [Sedlbauer 2001] na cztery grupy podłoży od 0 do III (niem. *Substratgruppe*). Do grupy 0, czyli optymalnych podłoży, zalicza się biologiczne nośniki grzybni. Do grupy I, biologicznie przyswajalnych substratów, należą produkty z dobrze rozkładających się surowców, np. tapety i płyty kartonowo-gipsowe. Podłoża grupy II, o porowatej strukturze, stanowią tynki, materiały mineralne i izolacyjne, jeżeli nie należą do grupy I. Grupa III, substraty obojętne, to metale, folie, szkła i glazura.

Słoma była początkowo włączona do grupy I, ale po najnowszych badaniach

TABELA 4.3 MAKSYMALNA WILGOTNOŚĆ, PRZY KTÓREJ MOŻNA ZAGWARANTOWAĆ NIEPOWSTAWANIE GRZYBÓW, DLA RÓŻNYCH RODZAJÓW SŁOMY PRZYJMUJĄC, ŻE SŁOMA JEST PODŁOŻEM GRUPY I (NIEM. *SUBSTRATGRUPPE* I)

SUBSTRAT	MAKSYMALNA WILGOTNOŚĆ PRZY KTÓREJ NIE POWSTAJĄ GRZYBY
PSZENICA	0,13 g/g
JĘCZMIEŃ	0,15 g/g
ŻYTO	0,12 g/g
ORKISZ	0,13 g/g

w Instytucie Fizyki Budowlanej (niem. *Fraunhofer Institut für Bauphysik*) w Holzkirchen przesunięto ją do grupy 0 [FASBA 2008]. Badania przeprowadzone na obiektach już zbudowanych wskazują jednak, że słoma praktycznie powinna znajdować się między grupą I a II.

Jeżeli założymy przynależność słomy do grupy I, to z izoterm sorpcji i podanej w tabeli 4.3 wilgotności masowej wynika, że przy tych wartościach można wykluczyć powstawanie grzybów pleśniowych.

Kolejną zmienną, która odgrywa tu rolę, jest czas. Im krócej na jakiś substrat ma wpływ klimat sprzyjający wzrostowi grzybów, tym mniejsze prawdopodobieństwo tego wzrostu.

Aby przewidzieć powstawanie grzybów, konieczne są kompleksowe rozważania biorące pod uwagę temperaturę, wilgotność, rodzaj podłoża i czas. Takie prognozy są w stanie dostarczyć specjalne programy (np. WUFI-Bio), bazujące na matematycznych modelach zarodników pleśni. Wynikiem jest wzrost grzybów w milimetrch, który jest miarą ich aktywności.

W Centrum Budownictwa Przyjaznego Środowisku (niem. *Zentum für Umweltbewustes Bauen*) w Kassel przeprowadzono liczne higrotermiczne symulacje dla różnych elementów budynku [FASBA 2008]. Na podstawie tych badań można bez ograniczeń polecać tylko takie rodzaje ścian, w których kostki słomy z zewnątrz będą zaizolowane termicznie oraz osłonięte dodatkową war-

stwą chroniącą je przed wpływami atmosferycznymi (deskowaniem).

Konstrukcje bez zewnętrznej izolacji można prawdopodobnie stosować, jeżeli będą dodatkowo chronione przed zmienną pogodą. Konstrukcja, w której izolację zewnętrzną zastępuje tynk gliniany o grubości 3 cm, jest też godna polecenia. Zasady te dotyczą budowy z małych kostek. Konstrukcje z kostek wielkowymiarowych można stosować pod warunkiem, że będą one dodatkowo zaizolowane i chronione przed deszczem. Jeżeli zabraknie ochrony przed zmienną pogodą, to zacinający deszcz, mocząc tynk, może doprowadzić do tworzenia się grzybów pleśniowych. Kiedy nie będzie zewnętrznej izolacji, to zewnętrzna strona kostek będzie chłodniejsza i wzrośnie niebezpieczeństwo powstawania wody kondensacyjnej, a co za tym idzie – pleśni.

Warunkowo dopuszczalne jest wewnętrzne izolowanie kostkami słomy istniejącej ściany, która z zewnątrz jest odeskowana i dodatkowo lekko zaizolowana, jeżeli od wewnątrz położymy paroizolację ($S_d = 2m$).

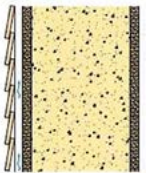
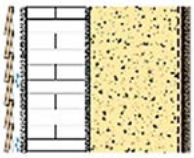
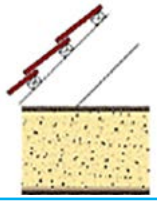
Spośród dachów skośnych za niebudzącą zastrzeżeń można uznać tylko konstrukcję z położonymi od środka płytami OSB, z zewnętrzną dodatkową izolacją, kontrłatami i łatami oraz dachówką.

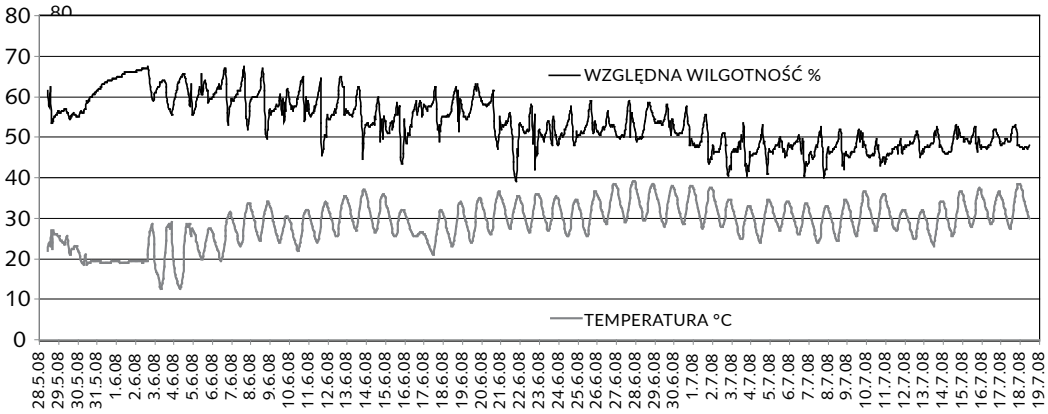
Przy konstrukcjach dachów płaskich zaleca się stosowanie wentylowanych dachów zielonych. Dachy niewentylowane zalecane są tylko warunkowo.

Tabela 4.4 pokazuje prawidłowe oraz warunkowo nadające się do zastosowania konstrukcje, przedstawione pod kątem problematyki powstawania grzybów pleśniowych. Konstrukcja jest zakwalifikowana jako warunkowo dopuszczalna, kiedy roczny wzrost grzybów jest nie większy niż 150 mm.

W sklepieniu z kostek słomy, zbudowanego w Tamerze, Alentejo, w Portugalii (por. rozdz. 22.25), położono warstwę bitumiczną termozgrzewalną z dachem zielonym bezpośrednio na tynku glinianym, pokrywającym kostki. Od wewnątrz sklepienia nie położono paroizolacji. Taka konstrukcja odpowiada nieoddzielonej od

TABELA 4.4 KONSTRUKCJE PRAWIDŁOWE ORAZ WARUNKOWO ODPOWIEDNIE, Z UWAGI NA PROBLEMATYKĘ GRZYBÓW PLEŚNIOWYCH [FASBA 2008]

SZKIC ELEMENTU	GRUBOŚĆ WARSTW [cm]	UKŁAD WARSTW	NADAJE SIĘ? (ROCZNY PRZYROST GRZYBA PLEŚNIOWEGO W mm)
		DESKOWANIE NA NAKŁADKĘ	TAK
	3	ŁATY / SZCZELINA WENTYLACYJNA	
	2,2	PŁYTY Z WŁÓKNA DRZEWNEGO (ALBO TYNK GLINIANY, 3 cm)	
	36	KOSTKI SŁOMY	
	1,5	PŁYTY KARTONOWO-GIPSOWE ALBO OSB ALBO PŁYTA OSB + PŁYTA GLINIANE O GRUBOŚCI 2 cm	
JAK POPRZEDNIO, ALE KOSTKI SŁOMY O GRUBOŚCI 85 CM			WARUNKOWO (6 mm)
		DESKOWANIE NA NAKŁADKĘ	WARUNKOWO (41 mm)
	3	ŁATY / SZCZELINA WENTYLACYJNA	
	3	TYNK GLINIANY, TRÓJWARSTWOWY	
	36	KOSTKI SŁOMY	
	3	TYNK GLINIANY, TRÓJWARSTWOWY	
JAK POPRZEDNIO, ALE TYNK WEWNĘTRZNY GLINIANY JAKO WARSTWA O OGRANICZONEJ PAROPRZEPUSZCZLNOŚCI (μ = 30)			WARUNKOWO (43 mm)
JAK POPRZEDNIO, ALE PŁYTA Z WŁÓKNA DRZEWNEGO ZAMIAST TYNKU WEWNĘTRZNEGO			WARUNKOWO (58 mm)
		DESKOWANIE NA NAKŁADKĘ	WARUNKOWO (16 mm)
	3	ŁATY / SZCZELINA WENTYLACYJNA	
	2	TYNK WAPIENNO-CEMENTOWY	
	24	MUR CEGLANY	
	2	TYNK WAPIENNO-CEMENTOWY	
	36	KOSTKI SŁOMY	
		PAROIZOLACJA (s_d = 2 m)	
	1,3	DESKOWANIE DREWNIANE	
	3	TYNK GLINIANY TRÓJWARSTWOWY NA MACIE TRZCINOWEJ	
		DACHÓWKA, ŁATY, KONTRŁATY	TAK
	2,2	PŁYTA Z WŁÓKNA DRZEWNEGO	
	36	KOSTKI SŁOMY	
	1,5	PŁYTA OSB	
		WEGETACJA, WARSTWA SUBSTRATU, WARSTWA DRENAŻU, WARSTWA OCHRONNA PRZECIW KORZENIOM, WŁÓKNINA OCHRONNA, POWŁOKA DEKARSKA	TAK
	2,8	DESKOWANIE NA WPUST I PIÓRO	
	4	WARSTWA POWIETRZA	
	2,2	PŁYTA Z WŁÓKNA DRZEWNEGO	
	36	KOSTKI SŁOMY	
		PAROIZOLACJA (S_D = 2m)	
	2,2	DESKOWANIE	
	2	TYNK GLINIANY NA MACIE TRZCINOWEJ	
JAK POPRZEDNIO, ALE BEZ WARSTWY POWIETRZA I BEZ MATY Z WEŁNY DRZEWNEJ			WARUNKOWO (31 mm)
	2	TYNK GLINIANY ALBO 2,2 CM PŁYTY Z WŁÓKNA DRZEWNEGO	TAK
	36	KOSTKI SŁOMY	
		OPCJONALNIE: PAROIZOLACJA (S_D = 2m)	
	2,2	DESKOWANIE	
	2	PŁYTA GLINIANA ALBO TYNK GLINIANY NA MACIE TRZCINOWEJ	



4.10 WYNIKI POMIARÓW TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI W KOSTKACH SŁOMY SKLEPIENIA, TAMERA, PORTUGALIA

pomieszczenia termoizolacji wewnętrznej, w miejscu potencjalnie narażonym na działanie wilgoci. Szkody mogłyby powstać wtedy, gdy na skutek różnicy temperatur między wnętrzem i stroną zewnętrzną, na spodzie dachowej powłoki bitumicznej zbierałaby się woda kondensacyjna, która nie mogłaby odpowiednio szybko wyschnąć poprzez oddanie wilgoci do wnętrza.

Dzięki łagodnemu klimatowi Portugalii oraz dzięki zielonemu dachowi, który łagodzi ekstrema temperatury, problem ten okazuje się niegroźny. Aby mieć bieżące informacje o stanie wilgotności powietrza na wewnętrznej stronie izolacji bitumicznej dachu, zabudowano tam czujnik mierzący temperaturę i wilgotność. Sensor notował dane z czerwca i lipca w 2008 roku (patrz wykres 4.10).

Jest oczywiste, że wilgotność względna (zaznaczyć jednak trzeba, że przy wysokiej temperaturze) w obserwowanym przedziale czasu znajdowała się nieprzerwanie na bezpiecznym poziomie. Przedstawiony okres należy traktować jako wilgotnościowo niekrytyczny, ponieważ średnia temperatura zewnętrzna była wyższa niż średnia temperatura wnętrza budynku. Wyniki pomiarów pokazują jednak co najmniej to, że powstała ewentualnie podczas poprzedniej zimy woda kondensacyjna była w stanie wyschnąć w wyniku dyfuzji. Można przypuszczać, że ta konstrukcja w klimacie panującym w Alentejo będzie bezproblemowa także długoterminowo. To stwierdzenie nie dotyczy jednak innych klimatów.

4.5 Ochrona przed hałasem

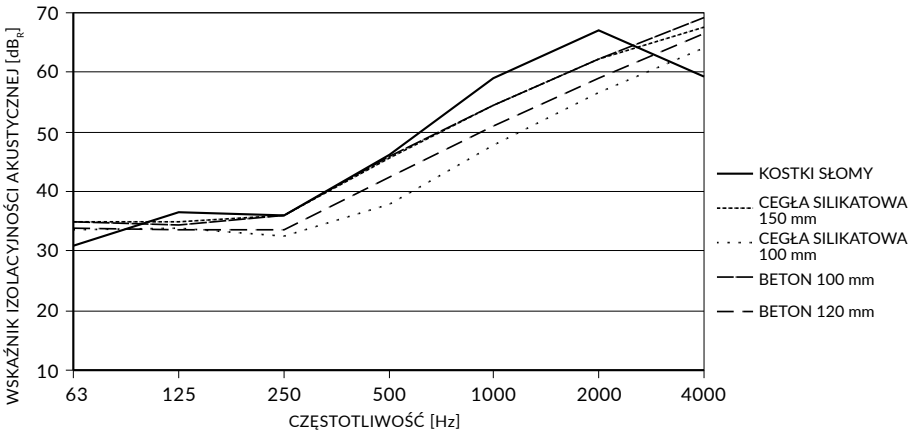
Izolacja od dźwięków powietrznych elementów budowli jest według normy DIN 4109 opisana ilościowo, a jej szacunkową miarą jest wskaźnik izolacyjności akustycznej R_w albo R'_w. Wartość laboratoryjna - wskaźnik R_w dotyczy sytuacji, gdy dźwięk przechodzi wyłącznie przez badany element. Przy dodatkowym, bocznym przenikaniu dźwięku albo innych jego drogach stosuje się wskaźnik R'_w.

Wymagania minimalne ochrony przed hałasem dla elementów budowli według DIN 4109 wynoszą: dla ścian oddzielających domy szeregowe i bliźniacze $R'_w = 57\,dB$, dla ścian w klasach szkolnych $R'_w = 32\,dB$ oraz dla ścian między klasami i klatkami schodowymi 47 dB. Dla budynków mieszkalnych są tylko zalecenia, które obejmują izolacyjność na poziomie 40 dB między głośnymi i cichymi pomieszczeniami.

Izolacyjność akustyczna ściany z kostek słomy otynkowanej z obu stron jest wyższa niż innych, tak samo ciężkich konstrukcji jednowarstwowych, ponieważ kostki wykazują swego rodzaju działanie sprężynujące. Poza tym kostki pochłaniają dźwięk.

W studiu muzycznym w Australii przeprowadzono badania na ścianach z kostek słomy o grubości 45 cm. Wykazały one, że przy widmie dźwięku 500-10000Hz poziom dźwięku wewnątrz budynku wynosił 114-117 dB, natomiast na zewnątrz 62-71 dB. Odpowiada to różnicy poziomu dźwięku w zakresie 43-55 dB (John Glassford, wspomniano w [GrAT 2001]).

W wiedeńskim *Versuchs- und Forschungsanstalt Wien MA39* badano według normy ÖNORM EN 20140-3 izolacyjność dźwiękową ściany zbudowanej z płyt trzywarstwowego klejonego krzyżowo drewna świerkowego, pięćdziesięciocentymetrowej warstwy z kostek słomy i z tynku glinianego o grubości 3-4 cm. Uzyskano wskaźnik izolacyjności 55 dB. Na Uniwersytecie technicznym w Eidhoven w Holandii badano według ISO 140-3 wartości izolacji dźwiękowej dla ściany z 45 cm kostek słomy (o gęstości 120-130 kg/m³), pokrytej na grubość 2,5 cm, względnie 3,5 cm, surowym tynkiem glinianym. Rys. 4.11 pokazuje uzyskane wartości, w porównaniu ze ścianami masywnymi z betonu i cegły silikatowej.



4.11 WSKAŹNIKI IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ DLA RÓŻNYCH MATERIAŁÓW ŚCIENNYCH

Instytut Akustyki i Fizyki Budowlanej (niem. *Institut für Akustik und Bauphysik*) w Oberursel określił według DIN EN ISO 140-1 obliczeniową wartość izolacji dźwiękowej dla ściany szkieletowej wypełnionej kostkami słomy o grubości 36 cm i otynkowanej dwustronnie na grubość 1 cm jako $R_{W,R} = 43\ dB$ [FASBA 2008]. Dla ściany, która jedną stronę miała otynkowaną gliną na grubość 1 cm, a drugą na 2 cm, zmierzono wartość $R_{W,R} = 44\ dB$. Z wykresu 4.12 można odczytać, że izolacja dźwiękowa przy niskich częstotliwościach jest ograniczona, przy zwiększającej się częstotliwości wzrasta, przy 200 Hz spada na niższy poziom i od ok. 500 Hz wyraźnie wzrasta do ponad 80 dB.

4.6 Ochrona przeciwpożarowa

Ocenę zachowania się materiałów budowlanych w czasie pożaru reguluje norma DIN 4102. Według niej materiały budowlane dzieli się z uwagi na ich palność na następujące klasy:

- A – niepalne
- B1 – trudno zapalne
- B2 – normalnie zapalne
- B3 – łatwo zapalne

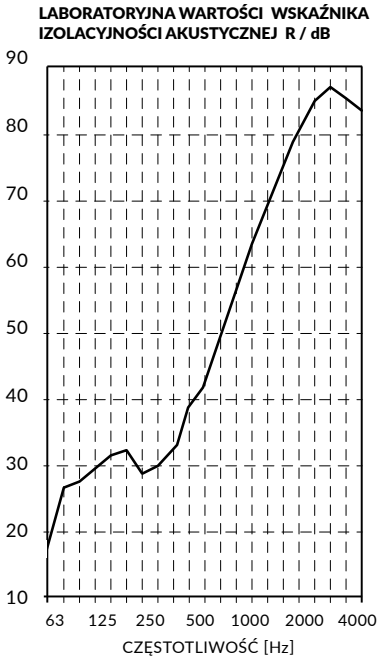
Materiały ścienne muszą być co najmniej klasy B2.

Norma DIN 4102 klasyfikowała tylko materiały budowlane, nowa europejska norma DIN EN 13501 umożliwia także klasyfikuję produktów budowlanych przy pomocy tzw. testu spalania pojedynczego przedmiotu (ang. *Single Burning Item* - SBI).

Elementy budowli klasyfikuje się pod względem odporności ogniowej, która opisana jest w minutach: F30, F60, F90, F120*. Przez taki minimalny czas muszą być zachowane nośność, szczelność i izolacyjność ogniowa elementu.

Luźna słoma stwarza niebezpieczeństwo pożaru. Tak jak luźną kartka papieru, jest ją bardzo łatwo podpalić. Podobnie jak znacznie trudniej jest podpalić książkę telefoniczną, tak też niełatwo, z uwagi na słaby dopływ tlenu, pali się sprasowana kostka słomy.

Słomę sklasyfikowano jako materiał klasy B2 (normalnie zapalny). Kiedy jednak ścianę z kostek słomy otynkujemy z dwóch stron 8 mm tynku glinianego, to będzie ona należała do klasy B1 (trudno zapalne)**. Nowe niemieckie testy potwierdzają, że konstrukcja z słupami drewnianymi, z kostkami słomy w roli izolacji i dwustronnym tynkiem glinianym o grubości co najmniej



4.12 ZMIERZONY LABORATORYJNIE WSKAŹNIK IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ W ZALEŻNOŚCI OD FREKWENCJI DLA ŚCIANY Z KOSTEK SŁOMY POKRYTEJ Z OBU STRON TYNKIEM GLINIANYM O GRUBOŚCI 1 CM. [WEDŁUG FASBA 2008]

* Podano oznaczenia wg normy niemieckiej. Odpowiadają one oznaczeniom REI30, REI60, REI90, REI120 wg zunifikowanej normy europejskiej EN 1363 obowiązującej obecnie także w Polsce.

** Podano oznaczenia klas wg niemieckiej normy DIN4102-1. W wyniku testów wg normy europejskiej EN 13501-1 (system euroklas) same kostki słomy otrzymały oznaczenie D, natomiast otynkowane ściany z kostek słomy B, s1, d0.

4.13 NANOSZENIE PIERWSZEJ WARSTWY TYNKU

4.14 ŁODYGI SŁOMY OBLEPIONE GLINĄ

10 mm, ma odporność ogniową F30. Dla ścian nośnych z kostek słomy, otynkowanych obustronnie tynkiem glinianym grubości 3-5 cm i poddanych obciążeniu użytkowemu, również określono odporność ogniową jako F30 [FASBA 2008]. W styczniu 2014 przeprowadzono z powodzeniem trwający 90 minut test na obciążonej ścianie o konstrukcji szkieletowej z wypełnieniem z kostek słomy obustronnie pokrytych ośmiomilimetrowym tynkiem wapiennym [FASBA 2014].

W Austrii w wyniku testu ściany z kostek słomy otynkowanej od strony zewnętrznej tynkiem wapiennym, a od strony wewnętrznej tynkiem glinianym, uznano odporność ogniową F90 według ÖNORM B 6015 względnie DIN 4102-1*. Zbliżone testy przeprowadzone w USA (SHA AGRA test) wykazały nawet odporność ogniową rzędu 120 minut [Steen et al. 1994].

Duża odporność ogniowa otynkowanej ściany słomianej wynika przede wszystkim z odcięcia przez tynk dopływu tlenu do wnętrza ściany. Drugim czynnikiem jest mocne sprasowanie kostek, w wyniku którego jest w nich niedużo tlenu, co spowalnia rozprzestrzenianie się pożaru. Jeśli jednak powłoka tynku pęknie, to pod rysą tworzy się warstwa zwęglonych łodyg, która przeszkadza dalszemu dostawaniu się tamtędy tlenu, co wykazały badania przeprowadzone w Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego (FEB) Uniwersytetu w Kassel. Podczas testu temperatura wynosiła 1000°C, jak to przewiduje norma DIN. Po 90 minutach działania ognia, mimo tworzenia się rys, w ścianie nie wystąpił ogień, a jedynie nastąpiło zwęglenie kostek słomy w obrębie pęknięć.

Nieotynkowane ściany z kostek słomy są w czasie budowy narażone na pożar, szczególnie kiedy wystają z nich pojedyncze łodygi. Dlatego powinny zostać pokryte pierwszą warstwą tynku jak najszybciej po postawieniu. Najłatwiej zrobić to poprzez natrysk agregatem, wygładzając następnie powierzchnię ściany pacą, aby wcisnąć w tynk wystające łodygi słomy (zdjęcia 4.13 i 4.14).

Dla wolnostojących domów jednorodzinnych i dla budynków o niedużej wysokości nie ma w zasadzie wymagań ochrony przeciwpożarowej. Ponieważ przepisy w poszczególnych landach Niemiec trochę się różnią, należy podczas planowania domu z kostek słomy odpowiednio wcześnie zasięgać rady urzędów udzielających pozwoleń na budowę.

* Testy odporności ogniowej symulują pożar wewnątrz budynku, więc strona wewnętrzna ściany oznacza tu stronę wystawiona na działanie ognia.

5. BILANS CO_2 I WARTOŚĆ PEI DLA KOSTEK SŁOMY ORAZ ŚCIAN Z KOSTEK SŁOMY

5.1 Podstawy

Do produkcji każdego materiału budowlanego potrzebna jest energia. Im mniej intensywnie materiał jest przetwarzany, tym mniej energii będzie potrzeba do jego wytworzenia. Bliskie natury surowce, takie jak glina, kamienie polne albo drewno, zawierają znacznie mniej energii niż przemysłowo przetworzone produkty, jak metale, tworzywa sztuczne albo cement. Energię potrzebną do wyprodukowania danego materiału określamy jako zawartą w nim energię wbudowaną.*

* Przyjęto polskie określenie energia wbudowana jako tłumaczenie niemieckiego PEI – *Primärenergieinhalt*. Obydwa określenia są w tłumaczeniu używane zamiennie.

Zawartość energii wbudowanej PEI dotyczy „wszystkich procesów wstępnych i produkcyjnych aż do gotowego do sprzedaży produktu. Kryterium to bierze pod uwagę tylko energię z nieodnawialnych źródeł. Zawartość energii w drewnie, wodzie, słońcu itd. nie jest tu uwzględniona.” [Kohler/ Klingele (wyd.) 1995]. PEI opisuje więc ilość energii nieodnawialnej, która jest potrzebna do wytworzenia produktu (np. budowlanego). Energia słoneczna zawarta w postaci pierwiastku węgla np. w drewnie albo słomie nie jest brana pod uwagę, tak samo, jak nakład energii na transport gotowego materiałów na budowę i na prace budowlane.

Jak każda roślina dokonująca fotosyntezy, słoma pobiera z powietrza dwutlenek węgla (CO2, cząsteczkę w stanie gazowym, składającą się z jednego atomu węgla i dwóch atomów tlenu). Węgiel jest magazynowany w strukturze rośliny, a tlen oddawany do powietrza. Po obumarciu rośliny następuje jej rozkład. W tym procesie węgiel łączy się z zawartym w powietrzu tlenem. Powstaje znowu dokładnie tyle samo dwutlenku węgla, ile roślina wchłonęła w okresie wzrostu.

Proces ten jest więc neutralny pod względem emisji CO_2. Jeśli roślina zostanie spalona, zajdzie zbliżony proces, z tą różnicą, że utlenienie przebiegnie znacznie szybciej.

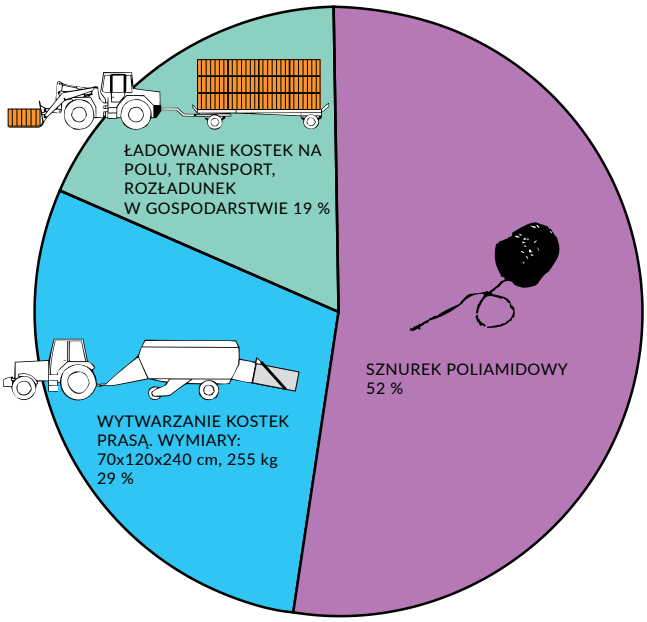
Poprzez wykorzystanie słomy jako materiału izolacyjnego, zostaje ona wyjęta z tego procesu, ponieważ zawarty w słomie węgiel ani przez spalenie, ani przez gnicie nie dostaje się do atmosfery. Dom z kostek słomy staje się więc magazynem węgla. Słoma w swoim składzie zawiera ok. 42% węgla. Jedna tona słomy to w przybliżeniu 420 kg zmagazynowanego węgla. W ten sposób atmosfera zostaje „odciążona” o ok. 1,5 kg CO_2 na każdy kilogram słomy – na czas jej wykorzystywania w budynku. Uniknięcie emisji w ten sposób można opisać jako ujemny (a więc korzystny) bilans CO_2. Bilans ten jest jednak prawdziwy tylko wtedy, jeżeli będzie dalej uwzględniany na końcu cyklu użytkowania słomy w budynku. Jeśli na przykład po zakończonym użytkowaniu ta słoma zostanie spalona (albo skompostowana), to należy ją w dalszych rachunkach traktować podobnie jak paliwa kopalne, ponieważ redukcja emisji CO_2 została już zapisana w bilansie dla budynku.

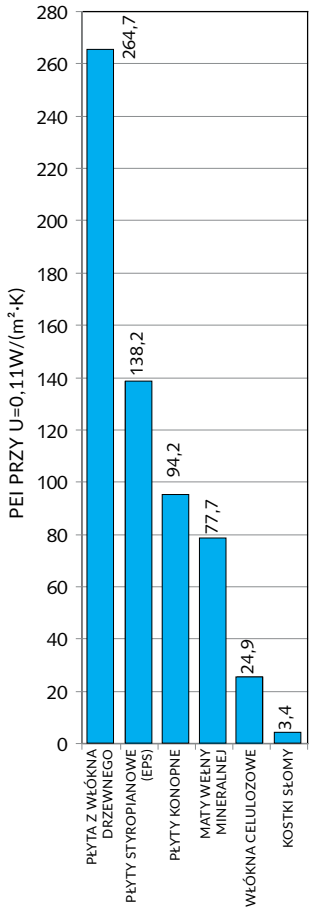
5.2 Zawartość energii PEI w kostkach słomy

Zawartość energii wbudowanej (PEI) dla wielkowymiarowych kostek ustalono na 50 kWh/t, a dla kostek małych na 63 kWh/t [Krick 2008]. Wzięto tu pod uwagę: wykonanie kostek za pomocą prasy, energię potrzebną do produkcji sznurka, energię zużytą podczas załadunku i transportu, rodzaj zastosowanych maszyn oraz proporcjonalną część nakładu energii potrzebnej do ich wytworzenia. W stosunku do masy, duże kostki, pomimo stosowania maszyn do ich za- i rozładunku, wykazały mniejszą wartość PEI niż małe kostki. Powodem była większa wydajność nowoczesnych pras.

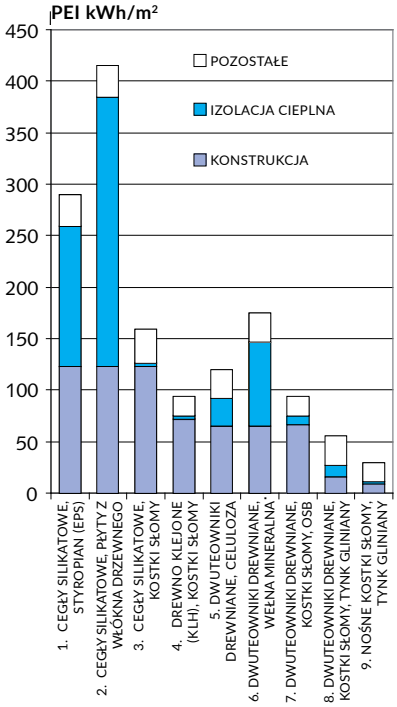
Rys. 5.1 przedstawia procentowo wkład poszczególnych procesów produkcji w PEI dużych kostek. Zwraca uwagę znaczny udział sznurka. Powodem nie jest jakaś szczególnie wysoka energochłonność produkcji sznurka, lecz raczej ekstremalnie niskie nakłady energii w przypadku pozostałych procesów.

5.1 WKŁAD POSZCZEGÓLNYCH PROCESÓW PRODUKCJI WE WSKAŹNIK PEI (ENERGII WBUDOWANEJ) DUŻYCH KOSTEK (WEDŁUG [KRICK 2008])





5.2 ZAWARTOŚĆ ENERGII WBUDOWANEJ PRZY WSPÓŁCZYNNIKU PRZENIKANIA CIEPŁA U = 0,11W/(m²•K)



5.3 ZAWARTOŚĆ ENERGII WBUDOWANEJ DLA ŚCIAN O RÓŻNEJ KONSTRUKCJI PRZY WSPÓŁCZYNNIKU PRZENIKANIA CIEPŁA U = 0,11W/(m²•K)

5.3 PEI różnych materiałów budowlanych i konstrukcji

Kostki słomy są głównie stosowane jako izolacja termiczna. Wykres 5.2 przedstawia zawartość energii wbudowanej dla różnych materiałów izolacyjnych przy współczynniku *U* na poziomie *0,11 W/(m²K)*, wystarczającym zwykle na realizację domu pasywnego.

Na tej podstawie widać wyraźnie, że izolacja z kostek słomy wykazuje najmniejszą wartość energii wbudowanej. Przypuszczenie, że materiały izolacyjne z surowców pochodzenia roślinnego będą zawsze miały mniejszy wskaźnik PEI niż produkowane z surowców kopalnych albo mineralnych, okazuje się jednak nieprawdziwe.

Zdecydowanie najwyższą zawartość energii wbudowanej wykazują płyty z włókna drzewnego, produkowane typową metodą na mokro. Maty z wełny mineralnej są, z uwagi na PEI, materiałem korzystniejszym niż izolacja konopna. Może to dziwić, ponieważ konopie, podobnie jak słoma, są produktem rolniczym. Konopie jednak sieje się w celu produkcji materiałów izolacyjnych, a słoma jest produktem odpadowym i dlatego energia potrzebna do jej uprawy nie jest tu uwzględniona. Gdyby procesy uprawy zboża dodano do produkcji słomy, jej zawartość energii wbudowanej byłaby podobna do przedstawionej tu izolacji z celulozy.

Konstrukcje ścienne nie składają się jednak tylko z izolacji. Na wykresie 5.3 przedstawiono zawartość energii wbudowanej w konwencjonalnych przegrodach w porównaniu z przegrodami z kostek słomy. Punktem wyjściowym tego porównania jest ściana z cegieł silikatowych, izolowana styropianem (EPS), pokryta z zewnątrz tynkiem żywicznym i od środka tynkiem wapienno-cementowym (przegroda 1). Energia wbudowana jest tu w równym stopniu zawarta w konstrukcji, jak i w izolacji oraz w niewielkim stopniu w kategorii „pozostałe", czyli w warstwach tynku. Kiedy zastąpimy EPS płytami z włókna drzewnego (przegroda 2), energochłonność izolacji znacznie wzrasta. Zastosowanie kostek słomy zamiast płyt z włókna drzewnego zmniejsza radykalnie PEI (przegroda 3). Do dalszego zmniejszenia PEI prowadzi zastąpienie warstwy nośnej z silikatów płytami drewna klejonego, przez co obniża się ilość energii wbudowanej tej warstwy, oraz dodatkowo dla pozycji „pozostałe", bo strony wewnętrznej nie trzeba tynkować, pozostaje widoczna. Kiedy zamiast drewna klejonego użyjemy konstrukcji z drewnianych dwuteowników, a tynk zewnętrzny zastąpimy deskowaniem, to przy użyciu kostek słomy uzyskamy lekki spadek PEI. Przez zastosowanie wełny mineralnej lub celulozy nie da się nic zaoszczędzić. Wartość PEI konstrukcji drewniano-słomianej jest tylko nieznacznie mniejsza, ponieważ wbudowane od środka płyty OSB i płyty z włókna drzewnego od zewnątrz posiadają objętościowo większą PEI niż drewno klejone. Izolacja wymaga większej ilości energii, ponieważ między półkami dwuteowniki drewniane są izolowane płytami z włókien drzewnych. Kolejne oszczędności można uzyskać stosując obustronnie tynk gliniany zamiast płyt OSB od wewnątrz i płyt z włókien drzewnych z zewnątrz (przegroda 8). W przypadku rezygnacji w przegrodzie 8 z dwuteowników, mamy do czynienia z wariantem 9 (ściana nośna z kostek słomy), który wypada najkorzystniej, a zawartość energii wbudowanej wynosi tu ok. 10% wariantu pierwotnego.

Należy jednak zauważyć, że:

- Wykres 5.3 dotyczy niczym „niezakłóconego" fragmentu ściany, bez detali. Jeżeli weźmiemy je pod uwagę, to wzrośnie wartość PEI.
- Z uwagi na kwestię powstawania grzybów pleśniowych Centrum Budownictwa Przyjaznego Środowisku (niem. *Zentrum für Umweltbewustes Bauen* – ZUB) w Kassel ustaliło, że przegrodę 7 można określić jako higrotermicznie poprawną, a wariant 9 jako warunkowo dopuszczalny. Konstrukcje przegród 3 i 4 są odradzane, ponieważ według obliczeń przeprowadzonych przy pomocy programu WUFI-Bio istnieje duże ryzyko zagrzybienia.

Podsumowując, można stwierdzić, że zastosowanie kostek słomy umożliwia znaczne obniżenie zawartości energii wbudowanej (PEI). Wnioski dotyczące wariantów 5-8 dotyczą także odpowiednich konstrukcji dachowych.

6. PODSTAWY PROJEKTOWANIA KONSTRUKCJI NOŚNYCH Z KOSTEK SŁOMY

6.1 Smukłość

Smukłością nazywamy stosunek wysokości ściany do jej grubości. Jest ona miarą jej odporności na wyboczenia. Im większa smukłość, tym mniej stabilna będzie ściana. W projekcie wstępnym nowych kalifornijskich przepisów dotyczących kostek słomy przyjmuje się dla nośnych ścian z kostek słomy maksymalny stosunek wysokości do grubości 6:1 [King 2006]. Z małych kostek leżących płasko można uzyskać wysokość *0,48·6 = 2,88 m* (minus odkształcenie powodowane wstępną kompresją ściany). Wymiar ten jest wystarczający do zastosowania w budynkach mieszkalnych itp. Z małych kostek kładzionych na rąb można uzyskać wysokość ściany *0,36·6 = 2,16 m*. Aby osiągnąć normalną wysokość pomieszczenia mieszkalnego, trzeba w tym wypadku przewidzieć cokół. Większa smukłość jest możliwa, kiedy zastosujemy dodatkowe elementy usztywniające.

6.2 Odkształcenia liniowe

Podczas obciążenia elementu budowlanego następuje jego deformacja, odkształcenie. Miarą sprężystości materiału (czyli jego odporności na odkształcenie) jest moduł odkształcalności liniowej *E [kN/m²]*, który jest stosunkiem powodowanego obciążeniem naprężenia σ *[kN/m²]* do odkształcenia ε [*m*], patrz rys. 6.1. Im materiał posiada większy moduł *E*, tym ściana jest sztywniejsza.

Moduł odkształcalności liniowej dla kostek słomy zależy przede wszystkim od ich gęstości i ułożenia łodyg. Im większa gęstość kostek, tym moduł *E* większy. Kostki układane na płasko (w stosownym miejscu budowli) wykazują mniejszy moduł *E* niż położone na rąb, por. rys. 6.2. W płasko leżącej kostce łodygi leżą jak rury, jedna na drugiej, i przy obciążeniu ulegają spłaszczeniu. W położeniu na rąb łodygi stoją, są dzięki temu mocniejsze, ale mają skłonność do wyboczenia.

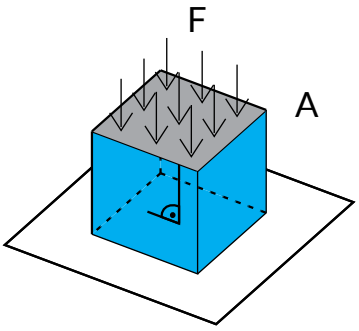
Ściany z kostek słomy wykazują wyższy moduł odkształcalności niż pojedyncze kostki. Wielkowymiarowe kostki cechuje wyższy moduł odkształcalności niż małe (por. rys. 6.3). Kiedy kostki są otynkowane, zwiększa się znacznie moduł *E*. Przy tym decydujące znaczenie ma miejsce, w którym oddziałują siły. Oddziaływanie obciążeń bezpośrednio na tynk powoduje wyższą wartość modułu *E*, niż kiedy siła działa poprzez kostki.

Ściany mają większy moduł odkształcalności niż pojedyncze kostki, ponieważ kostki w ścianie poddane obciążeniu wzajemnie sobie przeszkadzają w zmianach ich długości. Tabela 6.1 przedstawia wartości modułu *E* kostek słomy i ścian z nich wykonanych.

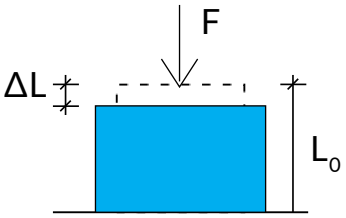
Z rys. 6.3, 6.4 oraz z tabeli 6.1 wynika, że:

- Kostki położone na rąb są sztywniejsze niż położone na płasko.
- Kostki wielkowymiarowe są sztywniejsze niż małe.
- Kostki utwierdzone są sztywniejsze, niż nieutwierdzone, ponieważ dzięki zamocowaniu bocznemu poprzeczne odkształcenie jest utrudnione. Ten sam wniosek dotyczy kostek zabudowanych w ścianach.
- Elementy ścienne z małych kostek są sztywniejsze, niż pojedyncze małe kostki. Powodem tego jest wzajemne przeszkadzanie sobie w poprzecznych odkształceniach. Efekt ten jest większy, niż to stwierdzono podczas badania utwierdzonych bocznie małych kostek.
- Otynkowane małe kostki słomy i otynkowane ściany z małych kostek wykazują o wiele większą sztywność, niż te same elementy, ale nieotynkowane.

MODUŁ E: STOSUNEK NAPRĘŻENIA DO SPOWODOWANEGO ODKSZTAŁCENIA

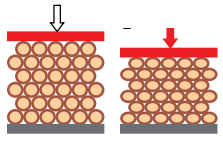


NAPRĘŻENIE σ WYNIKA Z WIELKOŚCI SIŁY F [kN] DZIAŁAJĄCEJ NA POWIERZCHNIĘ A [m²]

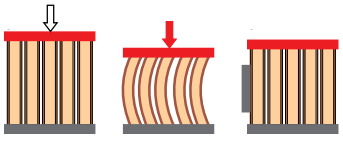


ODKSZTAŁCENIE WYLICZA SIĘ ZE ZMIANY WYSOKOŚCI ΔL [m] W PORÓWNANIU DO POPRZEDNIEJ WYSOKOŚCI ELEMENTU BUDOWLANEGO [m]

6.1 MODUŁ ODKSZTAŁCALNOŚCI LINIOWEJ, NAPRĘŻENIE, ODKSZTAŁCENIE (ZAADAPTOWANE Z [KRICK 2008])



UŁOŻENIE NA PŁASK



UŁOŻENIE NA RĄB

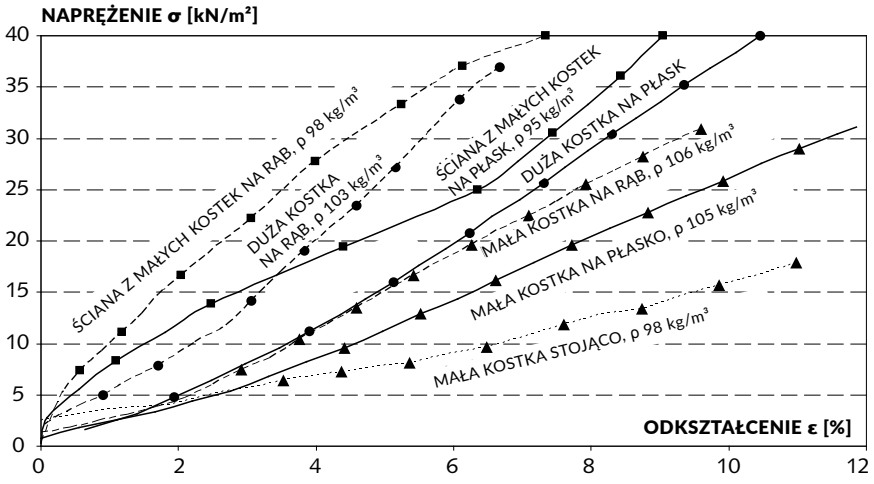
6.2 ZACHOWANIE SIĘ KOSTEK POŁOŻONYCH NA PŁASKO I NA RĄB POD OBCIĄŻENIEM [KRICK 2008]

MATERIAŁ (W PRZYPADKU SŁOMY - PSZENICA)	GĘSTOŚĆ [kg/m³]	MODUŁ E [kN/m²]
MAŁE KOSTKI, NA PŁASKO	112[1]	258[1]
MAŁE KOSTKI, NA PŁASKO (UTWIERDZONE)	107[1]	312[2]
MAŁE KOSTKI, NA RĄB	109[1]	256[1]
MAŁE KOSTKI, NA RĄB (UTWIERDZONE)	99[1]	375[2]
MAŁE KOSTKI, STOJĄCO	98[1]	169[2]
DUŻE KOSTKI, NA PŁASKO	124	750[3]
DUŻE KOSTKI, NA RĄB	110[1]	821[2]
MAŁE KOSTKI, NA PŁASKO, OTYNKOWANE, OBCIĄŻONE BEZPOŚREDNIO	106[1]	5486[2]
MAŁE KOSTKI, NA PŁASKO, OTYNKOWANE, OBCIĄŻONE POŚREDNIO	112[1]	911[2]
MAŁE KOSTKI, NA RĄB, OTYNKOWANE, OBCIĄŻONE BEZPOŚREDNIO	93[1]	7418[2]
MAŁE KOSTKI, NA RĄB, OTYNKOWANE, OBCIĄŻONE POŚREDNIO	84[1]	1240[2]
ELEMENT ŚCIENNY Z MAŁYCH KOSTEK, NA PŁASKO	95[1]	417[2]
ŚCIANA Z MAŁYCH KOSTEK, NA RĄB	98[1]	661[2]
ŚCIANA OTYNKOWANA Z MAŁYCH KOSTEK, NA RĄB	BRAK DANYCH	29000 - 89000[4]
ŚCIANA OTYNKOWANA Z DUŻYCH KOSTEK, NA PŁASKO	BRAK DANYCH	4900[3]
DLA PORÓWNANIA [LÄPPE 2006]		
BETON		$30 \cdot 10^6$
ŻELAZO		$210 \cdot 10^6$
DREWNO (ŚWIERK)		$10 \cdot 10^6$
TWARDE PVC		$3{,}5 \cdot 10^6$
WARTOŚCI Z RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ SĄ TYLKO WARUNKOWO PORÓWNYWALNE. 1 : GĘSTOŚĆ W STANIE SUCHYM, 2 : [KRICK 2008], +/- 20%, DANE DOTYCZĄ WARTOŚCI NAPRĘŻENIA DO 40 kN/m², 3 : [DANIELEWICZ, REINSCHMIDT 2008] PRZY 40-60 kN/m², 4 : [GRANDSEART 1999]		

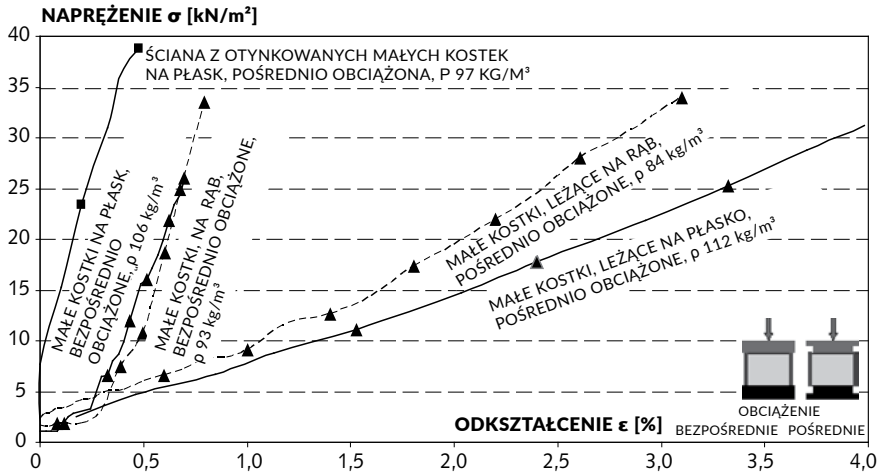
TABELA 6.1 MODUŁY ODKSZTAŁCALNOŚCI LINIOWEJ KOSTEK SŁOMY I ELEMENTÓW ŚCIENNYCH Z KOSTEK (ŹRÓDŁA: PATRZ W DOLE TABELI)

Tynk ma znaczny wpływ na sztywność, a co za tym idzie, także na zdolność do przenoszenia obciążeń ściany, co wyraźnie pokazuje porównanie krzywych na rys. 6.3 i 6.4. Podczas gdy nieotynkowana ściana z kładzionych na rąb małych kostek przy obciążeniu 40 kN/m² wykazuje odkształcenie 9%, to taka sama ściana obciążona pośrednio*, ale otynkowana wykazuje odkształcenie jedynie o ok. 0,5%. Przy obciążeniu bezpośrednim, kiedy ciężar spoczywa także bezpośrednio na tynku, odkształcenie jest jeszcze mniejsze, co uwidaczniają testy pojedynczych kostek. Pośrednio obciążona, otynkowana, płasko leżąca kostka słomy przy nacisku 30 kN/m² odkształca się o ok. 3,7%, a przy obciążeniu

* W tym rozdziale sformułowania obciążenie *bezpośrednie* i *pośrednie* są skrótami myślowymi i odnoszą się do warstw tynku. Obciążenie bezpośrednie oznacza sytuację, w której wieniec przekazuje obciążenie bezpośrednio zarówno na kostki słomy, jak i na tynk. Obciążenie pośrednie oznacza sytuację, w której wieniec przekazuje obciążenie tylko na kostki.



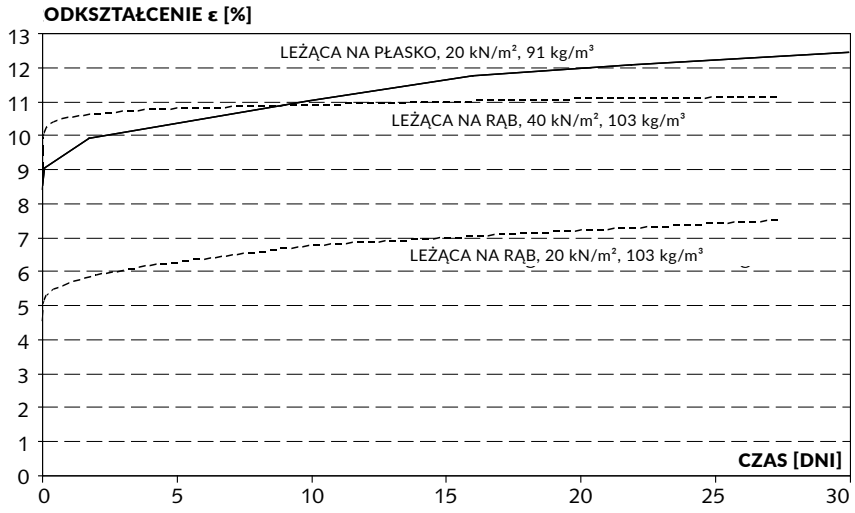
6.3 WYKRES NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEŃ ZABLOKOWANYCH NA KOŃCACH ELEMENTÓW ŚCIENNYCH** Z RÓŻNYCH KOSTEK ORAZ KOSTEK POJEDYNCZYCH W RÓŻNYCH POZYCJACH (PATRZ OPIS NA WYKRESIE). PODANA GĘSTOŚĆ DOTYCZY STANU SUCHEGO. POJEDYNCZE KOSTKI BYŁY TAKŻE ZABLOKOWANE NA KOŃCACH. KRZYWE CHARAKTERYSTYCZNE DLA POJEDYNCZYCH KOSTEK SĄ WARTOŚCIAMI ŚREDNIMI Z CO NAJMNIEJ 3 TESTÓW (OPRÓCZ PROSTOPADŁOŚCIENNYCH NA PŁASKO). KRZYWE, Z UWAGI NA TAKIE SAME ALBO PODOBNE UKŁADY TESTÓW, SĄ PORÓWNYWALNE (OPRÓCZ DUŻYCH KOSTEK NA PŁASK). WSZYSTKIE DANE Z [KRICK 2008], OPRÓCZ DUŻYCH KOSTEK NA PŁASK, TE DANE Z [SCHMIDT 2003].



6.4 WYKRES NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEŃ ZABLOKOWANEGO NA KOŃCACH ELEMENTU ŚCIENNEGO Z MAŁYCH KOSTEK NA PŁASKO, Z TYNKIEM GLINIANYM, ORAZ ZABLOKOWANYCH NA KOŃCACH, OTYNKOWANYCH, MAŁYCH KOSTEK LEŻĄCYCH NA PŁASKO I NA RĄB PRZY BEZPOŚREDNIM I POŚREDNIM OBCIĄŻENIU. PODANA GĘSTOŚĆ DOTYCZY STANU SUCHEGO. KRZYWE CHARAKTERYSTYCZNE DLA POJEDYNCZYCH KOSTEK SĄ WARTOŚCIAMI ŚREDNIMI Z CO NAJMNIEJ 2 TESTÓW. KRZYWE Z UWAGI NA TAKIE SAME UKŁADY TESTÓW SĄ PORÓWNYWALNE. DANE Z [KRICK 2008], OPRÓCZ ŚCIANY, TE DANE Z [ZHANG/FAINE 2002].

** Stanowisko, na którym badano ściany nośne z kostek słomy, składało się z ramy drewnianej, blokującej możliwość „wydłużania się" ściany – za co w budynku odpowiada odpowiednia konstrukcja narożników (por. rys.12.28).

bezpośrednim – jedynie 0,3%. Wpływ obciążenia częściowego* na zachowanie ściany pod obciążeniem będzie omówiony w rozdziale 6.5. Testy przeprowadzane na małych kostkach obciążonych 40 kN/m² wykazały, że po ich odciążeniu w ciągu kilku minut wracały do 70-80% wysokości pierwotnej. Kompresja wyniosła zatem 20-30%. Można więc mówić, że obciążone kostki słomy ulegają częściowej deformacji plastycznej [Krick 2008]. Rezultatem była większa sztywność przy ponownym obciążeniu. Dlatego przy budowie ścian nośnych słuszne jest stosowanie kostek uprzednio dodatkowo skompresowanych.



6.5 ZJAWISKO PEŁZANIA – TEST MAŁEJ KOSTKI LEŻĄCEJ NA PŁASKO I NA RĄB, PRZY NAPRĘŻENIU 40 I 20 kN/m² [KRICK 2008]

* Należy przez to rozumieć obciążenie przekazywane tylko na część powierzchni górnej ściany.

6.3 Pełzanie

Materiał budowlany reaguje na obciążenie najpierw przez natychmiastową deformację, odkształcenie liniowe. Jeżeli obciążenie jest stałe, to następuje dalsze odkształcenie – materiał ulega pełzaniu.

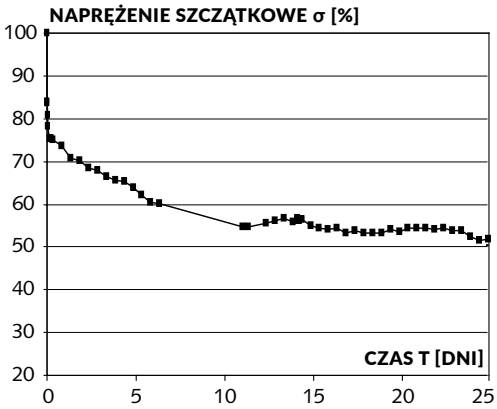
Rys. 6.5 przedstawia całkowite odkształcenie małych kostek słomy od początku, aż do 30 dnia obciążenia. Odkształcenie całkowite składa się z odkształcenia początkowego, które powstaje bezpośrednio po położeniu ciężaru, oraz z pełzania. Przedstawione testy dotyczą pojedynczych kostek zablokowanych na końcach. Jak udowodniono, elementy ścienne wykazują małe zniekształcenia początkowe i przypuszczalnie także małe deformacje pełzania.

Według Smitha, w ścianach nieotynkowanych z układanych na płasko kostek pełzanie kończy się po 15 tygodniach, a z układanych na rąb – po ok. 44 tygodniach [Smith 2003]. Przy dużych kostkach pełzanie kończy się prawdopodobnie szybciej dzięki ich większej gęstości.

Kiedy po obciążeniu próbki utrzyma się jej stałe odkształcenie, następuje w niej spadek naprężeń, zwany też relaksacją.

6.4 Relaksacja naprężeń

Ściany nośne budynku z kostek słomy ulegają odkształceniu po obciążeniu ich dachem. Tak dzieje się też wtedy, kiedy zwiększa się obciążenie np. podczas opadów śniegu. Aby temu przeciwdziałać, poddaje się ściany nośne sprężaniu wstępnemu (prekompresji), tj. antycypuje się osiadanie pod wpływem dużego obciążenia. Naprężenie wstępne z uwagi na relaksację musi być wyższe od największego przewidywanego obciążenia. Testy wykazały, że relaksacja przy



6.6 SPADEK NAPRĘŻENIA W ŚCIANACH Z UŁOŻONYCH NA PŁASK MAŁYCH KOSTEK PRZY GĘSTOŚCI W STANIE SUCHYM 95 kg/m³ ORAZ PRZY NAPRĘŻENIU POCZĄTKOWYM 40 kN/m² [KRICK 2008].

naprężeniu początkowym 40 kN/m² w ścianach nośnych z płasko położonych małych kostek wynosi ok. 50% po 25 dniach [Krick 2008] (por. rys. 6.6).

Według ustaleń Danielewicza i Reinschmidta w ścianach z dużych kostek o grubości 85 cm przy naprężeniu początkowym 120 kN/m² nastąpił spadek naprężenia do ok. 46% po 30 dniach. Relaksacja była praktycznie zakończona po 6 tygodniach.

Przewidując relaksację w ścianach nośnych, należy je poddać odpowiednio dobranemu, wyższemu sprężeniu wstępnemu. Na budowie nie jest łatwo wykonać odpowiednie sprężenie. Poza tym do pomiaru sprężenia niezbędne są specjalne urządzenia miernicze. Dlatego, jako punkt wyjścia należy przyjmować odkształcenie, które jest łatwe do zmierzenia.

W praktyce rozsądne jest tak długie obciążanie ścian całym ciężarem dachu, aż osiadanie ustanie. Kiedy to nastąpi, należy przy sprężaniu wstępnym uwzględnić tylko obciążenia śniegiem.

Inną możliwością jest wielokrotne powtarzanie sprężania wstępnego. Dzięki temu do prekompresji będą potrzebne znacznie mniejsze siły. Taka metoda jest wprawdzie poparta praktyką, ale jeszcze nie została zbadana naukowo. Wskazówki na ten temat znajdują się w rozdziale 18.

Należy jeszcze zwrócić uwagę, że powyższe informacje dotyczą małych kostek. Duże kostki są sprasowane mocniej i wykazują korzystniejsze parametry odkształcania oraz ewentualnego pełzania i relaksacji.

W innych częściach świata bierze się pod uwagę, że tynk połączony z kostkami słomy przejmuje znaczną część obciążenia. Jest to udowodnione poprzez testy obciążeniowe, ale w Niemczech uwzględnianie tego faktu nie jest dopuszczone w obliczeniach.

6.5 Przekazywanie obciążeń na część ściany

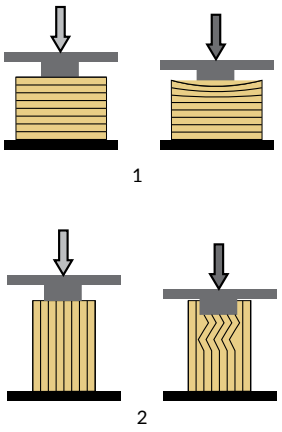
W konstrukcjach z kostek słomy górne zamknięcie ściany stanowi wieniec. Szczególnie w budynkach z kostek wielkowymiarowych wieniec może spowodować znaczny wzrost kosztów. Można je zmniejszyć, jeżeli belka wieńcząca nie obejmie całej szerokości ściany. W badaniach ([Krick 2008], [Danielewicz/Reinschmidt 2007]) sprawdzono, jak przekazywanie obciążeń na część ściany oddziałuje na relację naprężenie-odkształcenie i na relaksację naprężeń.

Krick stwierdził, że dla płasko położonych małych kostek, kiedy obciążenie przekazywane jest na 42% ich szerokości (=20 cm), moduł odkształcalności liniowej E zmniejsza się o ok. 20%. Wpływ obciążenia tylko części ściany nie był istotny dla relaksacji naprężeń. Danielewicz i Reinschmidt, podczas badań płasko położonych dużych kostek, przy obciążeniu 43% (=51 cm) ich szerokości, osiągnęli podobne wyniki.

Krick zaobserwował również, że przy małych kostkach kładzionych na rąb, przekazanie obciążeń na 56% (=20 cm) ich szerokości zmniejsza moduł E o ok. 60 %. Relaksacja była o ok. 8% większa niż zmierzona dla kostek obciążonych na całej szerokości.

Wyniki pokazują, że moduł odkształcalności liniowej kostek słomy obciążonych na części powierzchni jest niższy niż dla kostek obciążonych na całej powierzchni, niezależnie od ułożenia łodyg. Zjawisko to jest bardziej widoczne dla kostek kładzionych na rąb niż dla położonych na płasko.

W kostkach leżących na płasko, przekazywane obciążenie jest ewidentnie lepiej rozłożone (1 na rys. 6.7) niż w kostkach leżących na rąb (2 na rys. 6.7). W ścianach efekt mniejszego modułu E ma znaczenie tylko dla górnej warstwy kostek (uwaga dotyczy kostek ułożonych na płasko). Przy budowie ścian z kostek na rąb zaleca się przekazywanie obciążeń na całą powierzchnię.



6.7 ZACHOWYWANIE SIĘ KOSTEK NA PŁASK I NA RĄB PRZY PRZEKAZYWANIU OBCIĄŻEŃ NA CZĘŚĆ ICH POWIERZCHNI [KRICK 2008]

6.6 Deformacja ścian przy obciążeniach poziomych

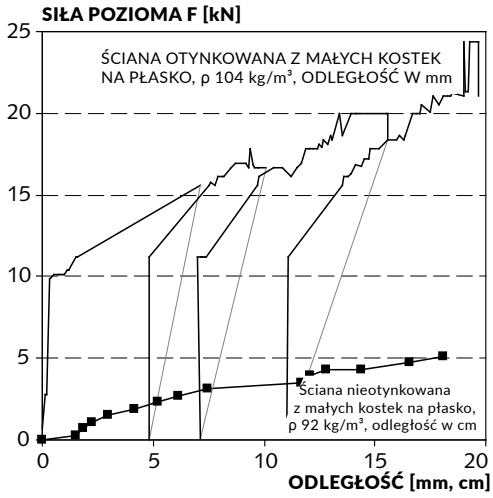
Obciążenia horyzontalne występują w wyniku działania wiatru i muszą być poprzez usztywnienia przekazywane do fundamentów. W budynku murowanym ściana jest wystarczająco odporna na działanie obciążeń poziomych. W lekkich konstrukcjach drewnianych usztywnieniami są przekątne deskowania, zastrzały, miecze, płyty albo stężenia z taśm stalowych.

Otynkowane ściany z kostek słomy lepiej przejmują obciążenia poziome wynikające z działania wiatru niż nieotynkowane. Ponieważ w Niemczech nie można brać pod uwagę tynku w obliczeniach konstrukcyjnych, należy wszystkie konstrukcje budynków z kostek słomy wzmacniać dodatkowymi usztywnieniami, tak samo jak lekkie konstrukcje drewniane.

Nowe przepisy *California Straw-Bale-Building Code* zezwalają na traktowanie tynku jako elementu konstrukcyjnego, zależnie od jego rodzaju i zbrojenia.

Przy zastosowaniu tynku glinianego niezbrojonego, dopuszczalne jest przykładowo obciążenie poziome 1,5 kN/m, przy tynku zbrojonym plastikową siatką – 2,6 kN/m, a dla tynku wapienno-cementowego – nawet 6,6 kN/m, patrz tabela 6.2.

Wyniki badań [Krick 2008], dotyczących ścian o wysokości 2 m z małych kostek ułożonych na płasko, przedstawiono na rys. 6.8. Okazało się, że nieotynkowana ściana wstępnie sprężona (40 kN/m²) odkształciła się o 180 mm przy obciążeniu jej górnej partii 5 kN, a ściana otynkowana w tych samych warunkach, ale obciążona 15 kN, tylko o 6 mm.



6.8 ODKSZTAŁCENIA ŚCIAN PODCZAS TESTÓW OBCIĄŻENIA POZIOMEGO (DEFORMACJE ŚCIANY OTYNKOWANEJ PODANO W mm, A NIEOTYNKOWANEJ W cm) [KRICK 2008]

TYNK	ZBROJENIE	NAPRĘŻENIA STYCZNE [kN/m]
GLINIANY	BRAK	1,5
	SIATKA KONOPNA, WIELKOŚĆ OCZKA 8 cm	1,8
	SIATKA POLIPROPYLENOWA, WIELKOŚĆ OCZKA 5 cm	2,6
WAPIENNY	SIATKA DRUCIANA	3,0
	ZBROJENIE DO WYLEWEK (DRUT GRUBOŚCI 2 mm, WIELKOŚĆ OCZKA 5 cm)	3,6
WAPIENNO-CEMENTOWY	SIATKA DRUCIANA	5,8
	ZBROJENIE DO WYLEWEK (DRUT GRUBOŚCI 2 mm, WIELKOŚĆ OCZKA 5 cm)	6,6
CEMENTOWY	SIATKA DRUCIANA	5,8
	ZBROJENIE DO WYLEWEK (DRUT GRUBOŚCI 2 mm, WIELKOŚĆ OCZKA 5 cm)	8,8

TABELA 6.2
DOPUSZCZALNE NAPRĘŻENIA CALIFORNIA BUILDING CODE (SKRÓT) WEDŁUG [KING 2006]

6.7 Odporność na trzęsienie ziemi

Budowle z kostek słomy, z uwagi na ich dużą elastyczność, bardzo dobrze nadają się do wznoszenia w terenach, w których występują trzęsienia ziemi. Na Uniwersytecie Nevada w Reno poddano testowi w pełnej skali, na dwuosiowym stole sejsmicznym, prototyp taniego domu dostarczony przez organizację *Pakistan Straw Bale and Appropriate Building*. Budynek o wymiarach 3,5x3,5 m ze ścianami nośnymi z kostek przetrwał ekstremalne przyśpieszenie 0,82 g.

Więcej na ten temat patrz:
www.nees.unr.edu/projects/straw-house

7. DOMY PASYWNE IZOLOWANE KOSTKAMI SŁOMY

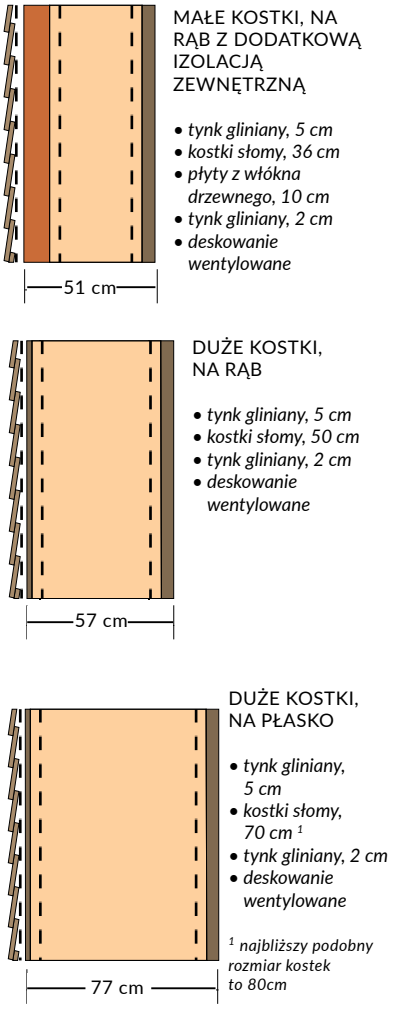
Dom pasywny to budynek, którego roczne zapotrzebowanie na energię cieplną wynosi maksimum 15 kWh/(m²·a), co odpowiada mniej więcej 1,5 l oleju opałowego na 1 m² jego powierzchni rocznie. Tak niskie zapotrzebowanie na ciepło osiąga się poprzez doskonałą izolację, zastosowanie wysokiej jakości okien z potrójnymi szybami, brak mostków termicznych, dobrą szczelność budynku oraz dzięki odzyskowi ciepła z wentylacji. Przy tak niskim zapotrzebowaniu niewielką ilość niezbędnego ciepła można dostarczyć za pomocą wentylacji mechanicznej, razem z podgrzewanym świeżym powietrzem, którego dostarczenie i tak jest konieczne ze względów higienicznych. W ten sposób zbędny staje się dodatkowy system rozprowadzania ciepła. Powstałe oszczędności można zainwestować w jakość izolacji termicznej przegród zewnętrznych.

Budowa domów pasywnych jest o ok. 5-8% droższa niż wznoszenie budynków konwencjonalnych*. Dodatkowe koszty amortyzują się jednak przez oszczędzanie energii w ciągu całej długości „życia" domu. Zaleca się, aby pasywne budynki mieszkalne miały współczynnik przenikania ciepła dla ścian zewnętrznych nie gorszy niż $U_{AW} = 0{,}15\ W/(m^2K)$. W przypadku domów jednorodzinnych wolnostojących wartość ta jednak z reguły nie wystarcza, aby osiągnąć roczne zapotrzebowanie na energię cieplną poniżej wartości granicznej 15 kWh/(m²·a). Dlatego zaleca się tu wartość $U = 0{,}11\ W/(m^2K)$ lub lepszą, por. np. [Feist 2001]. Tak niskie wartości współczynnika U są osiągalne przy zastosowaniu kostek słomy kładzionych na rąb albo na płasko, o grubości co najmniej 50 cm i współczynniku przewodności cieplnej $\lambda = 0{,}052\ W/(m{\cdot}K)$. Przy użyciu małych kostek niezbędna jest dodatkowa izolacja (która według wspomnianej niemieckiej aprobaty technicznej i tak jest zalecana). Rysunek 7.1 przedstawia trzy przykłady konstrukcji ściennych z izolacją z kostek słomy, nadających się do zastosowania w domach pasywnych. W wielu wypadkach, dzięki zastosowaniu wąskich ram okiennych i szczególnie dobrego oszklenia, możliwe jest osiągnięcie standardu domu pasywnego bez dodatkowej izolacji po zewnętrznej stronie kostek słomy. Mostków termicznych w domach pasywnych należy unikać w możliwie najwyższym stopniu. Dlatego dużo uwagi należy poświęcić położeniu i kształtowi wieńca, progom, słupom i połączeniom ze stropem.

Wysoka szczelność powietrzna jest warunkiem poprawnego działania wentylacji z odzyskiem ciepła. Według zasad fizyki budowli szczelna powierzchnia powinna znajdować się po wewnętrznej stronie izolacji cieplnej. Jeśli to tynk gliniany ma tworzyć powierzchnię szczelną, to należy go zbroić tak, aby nie powstawały rysy przechodzące przez całą jego grubość. Kolejną możliwością jest zastosowanie folii, membran lub też płyt, których łączenia będą klejone. Ze szczególną starannością należy projektować i wykonywać miejsca styku różnych materiałów.

Systemy wentylacyjne z odzyskiem ciepła są centralną częścią składową koncepcji domu pasywnego. W wymienniku ciepła (typu powietrze-powietrze) zimne powietrze nawiewane z zewnątrz przejmuje ciepło ze zużytego, wywiewanego powietrza, bez mieszania się z nim. Ruch strumieni powietrza napędzają wentylatory. Praca wentylatorów (zakładając prawidłowe ich rozmieszczenie i wysokiej jakości komponenty) zużywa tylko ułamek energii, w porównaniu do ilości energii zaoszczędzonej dzięki odzyskowi ciepła. Filtry chroniące wentylację przed zanieczyszczeniem należy co roku wymieniać. Filtry są korzystne dla alergików, ponieważ wychwytują kurz i pyłki.

Jak pokazują niektóre przykłady w rozdziale 22, budownictwo z kostek słomy, z jego niskim poziomem energii wbudowanej, można łączyć z koncepcją domu pasywnego o zminimalizowanym zapotrzebowaniu na energię cieplną, tworząc budynki wygodne dla mieszkańców i zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju. Więcej na temat domów pasywnych patrz [Feist 2001]. Obszerne informacje są zamieszczone na stronie *www.passiv.de*.



7.1 UKŁADY WARSTW W ŚCIANACH IZOLOWANYCH KOSTKAMI SŁOMY ODPOWIEDNIE DLA DOMÓW PASYWNYCH (U=0,11 W/(M2·K)

* Dane te dotyczą rynku niemieckiego

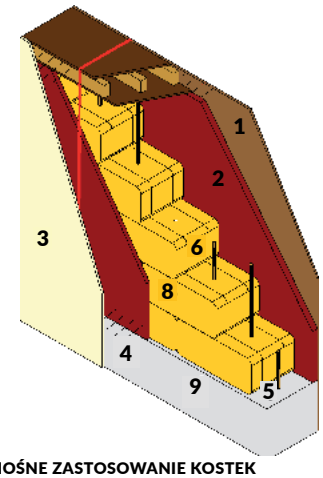
8. SYSTEMY KONSTRUKCJI ŚCIAN

8.1 Definicje i techniki budowania

Wśród ścian z kostek słomy występują dwa zasadniczo różniące się systemy konstrukcyjne:

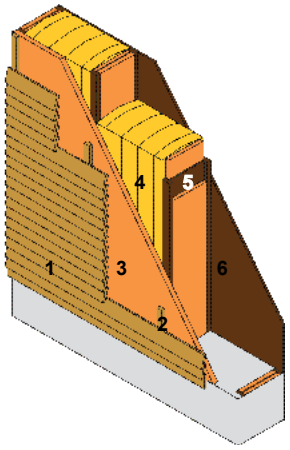
- *Nośna technika budowania**, w literaturze bywa nazywana techniką *Nebraska*, ponieważ powstała w tym stanie USA pod koniec XIX wieku. W języku angielskim używa się obecnie głównie określenia *loadbearing*. W tej konstrukcji kostki słomy przenoszą obciążenia dachu i, ewentualnie, stropów.
- W nienośnej technice budowania (ang. *non-loadbearing* albo *in-fill bale walls*) dodatkowy system nośny przejmuje obciążenia dachowe i stabilizuje ścianę. Kostki słomy nie pełnią tu funkcji statycznych, służą jedynie do wypełnienia przestrzeni między elementami konstrukcji i jako izolacja termiczna. Dodatkowy system nośny jest przeważnie wykonany z drewna, w formie ram albo szkieletu. Inne możliwości to konstrukcje z prefabrykowanych płyt drewnianych, z drewna klejonego warstwowo albo z bali. Tutaj kostki słomy znajdują się przed konstrukcją nośną, wykonaną z masywnego drewna. Podobny system znajduje zastosowanie przy termomodernizacji starych budynków, kiedy kostki słomy układa się jako dodatkową warstwę istniejącej ściany.
- Można także wypełniać kostkami słomy szkielety żelbetowe albo stalowe. W takim wypadku należy jednak zwrócić szczególną uwagę na problem mostków termicznych i zwiększone przez to niebezpieczeństwo szkód budowlanych.
- W roku 1982, Kanadyjczyk Louis Gagné opracował nośny system ścienny (ang. *mortared-bale matrix system*), który w literaturze określa się mianem techniki *Gagné*. W tej technice kostki układa się niczym cegły na zaprawie cementowej, bez przewiązania. Szkielet tworzą tu więc poziome i pionowe spoiny, które w całości albo częściowo przejmują funkcje statyczne. Jednak z uwagi na powstające mostki termiczne konstrukcja ta nie przyjęła się szerzej. Nie jest ona godna polecenia i dlatego też nie będzie tu szerzej omawiana.
- *Hybrydową techniką budowania* można nazwać kombinację elementów nośnego i nienośnego zastosowania słomy. Tutaj ściana z kostek słomy przenosi tylko część

* W oryginale *lasttragende Bauweise*. Dla utrzymania spójności tekstu zastosowano bezpośrednie tłumaczenie, które należy rozumieć jako swego rodzaju skrót myślowy od „zastosowanie kostek słomy w sposób przenoszący obciążenia".



NOŚNE ZASTOSOWANIE KOSTEK SŁOMY W ŚCIANIE

1. Tynk gliniany
2. Tynk gliniany – warstwa wykończeniowa
3. Tynk wapienny
4. Zbrojenie tynku
5. Kotwa fundamentowa
6. Szpile mocujące kostki
7. Taśma dociskowa
8. Kostki słomy
9. Wieniec



NIENOŚNE ZASTOSOWANIE KOSTEK SŁOMY W ŚCIANIE

1. Deskowanie na nakładkę
2. Łaty
3. Płyta z włókna drzewnego
4. Kostki słomy
5. Słup dwuteowy
6. Płyta OSB

8.1 SZKICE DOT. ZASADY NOŚNEGO I NIENOŚNEGO ZASTOSOWANIA KOSTEK SŁOMY W ŚCIANACH

8.2 SPIRAL HOUSE, IRLANDIA 2002 (PROJEKT: NORITA CLESHAM)

8.3 DOM O ŚCIANACH NOŚNYCH Z KOSTEK SŁOMY KOŁO TREWIRU 2002-2005 (PROJEKT: PETER WEBER)

8.2

8.3

8.4 DOM MIESZKALNY W DISENTIS, SZWAJCARIA 2002 (PROJEKT: WERNER SCHMIDT)

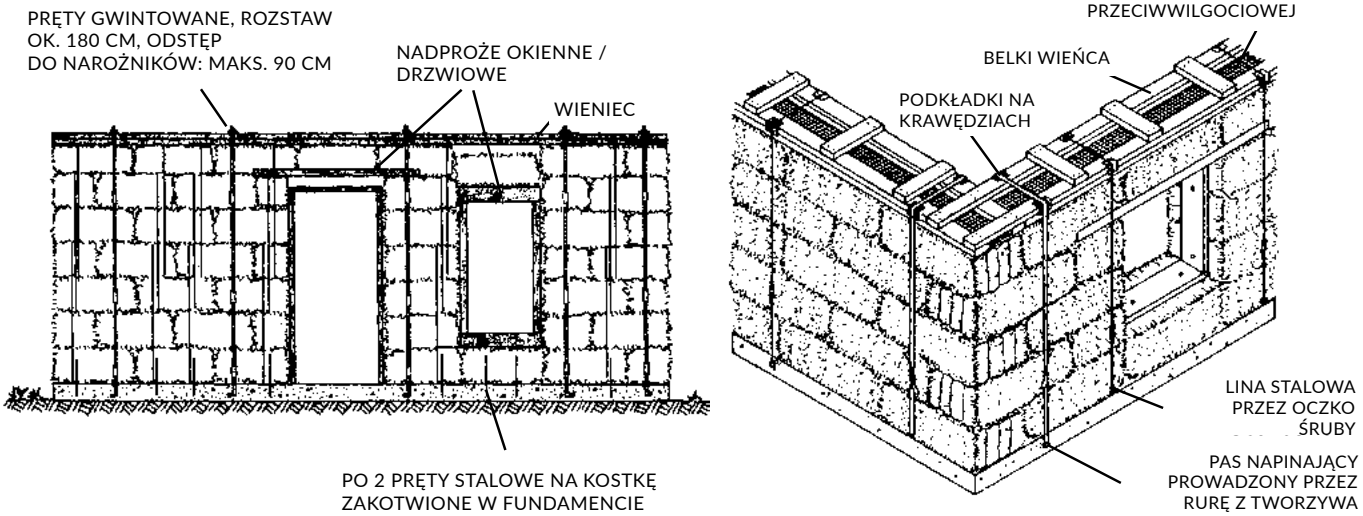
obciążeń, resztę przejmuje dodatkowy element nośny. Liczne budowle, w literaturze określane jako budynki o konstrukcji nośnej z kostek słomy, są, dokładnie rzecz ujmując, konstrukcjami hybrydowymi. Przykładowo w budynku Spiral House (rozdz. 22.16, zdjęcie 8.2) centralny komin przejmuje część obciążenia dachu i stropu. W budynkach Petera Webera w Trewirze (zdjęcie 8.3) oraz Wernera Schmidta w Dissintis (zdjęcie 8.4) część obciążeń przenoszą konstrukcje oszklonych, południowych fasad. Aby zapobiec późniejszym szkodom, należy przy planowaniu takich budynków brać pod uwagę odmienne zachowanie różniących się systemów nośnych przy osiadaniu .

8.2 Ściany nośne z kostek słomy

Ściany z ułożonych warstwami kostek słomy, które przenoszą ciężar dachu albo stropu na fundament bez pomocy dodatkowych podpór, fascynują z uwagi na pozorną prostotę konstrukcji i związany z nią niski koszt materiałów. Dlatego też rozpowszechniły się szybko, wraz z wprowadzeniem pras do słomy w USA w końcu XIX wieku (por. rozdz. 2.1).

Dzisiaj również można udowodnić, że w określonych przypadkach dają one korzyści w postaci oszczędności czasu i pieniędzy. Problemami są: podwyższona zależność realizacji od pogody, ograniczenie wielkości budynku ze względu na zachowywanie się słomy pod obciążeniem, a także, szczególnie w Niemczech, uzyskanie pozwolenia na budowę. Budynki o konstrukcji nośnej z kostek słomy uzyskiwały je dotychczas w Niemczech jako tzw. „pojedyncze przypadki". Inne zasady obowiązują np. w Szwajcarii, w Austrii i Tyrolu Południowym. Tam powstały, z urzędowym pozwoleniem, obiekty nawet trzykondygnacyjne o ścianach nośnych z kostek słomy (por. rozdz. 22.14 i 22.15).

Ograniczenia projektowe wynikają z zalecanej maksymalnej smukłości ścian (ich grubość powinna mieć co najmniej wymiar 1/6 wysokości) oraz z zaleceń mówiących



8.5 PREKOMPRESJA ŚCIAN NOŚNYCH Z KOSTEK SŁOMY WEDŁUG [STEEN ET AL. 1994]

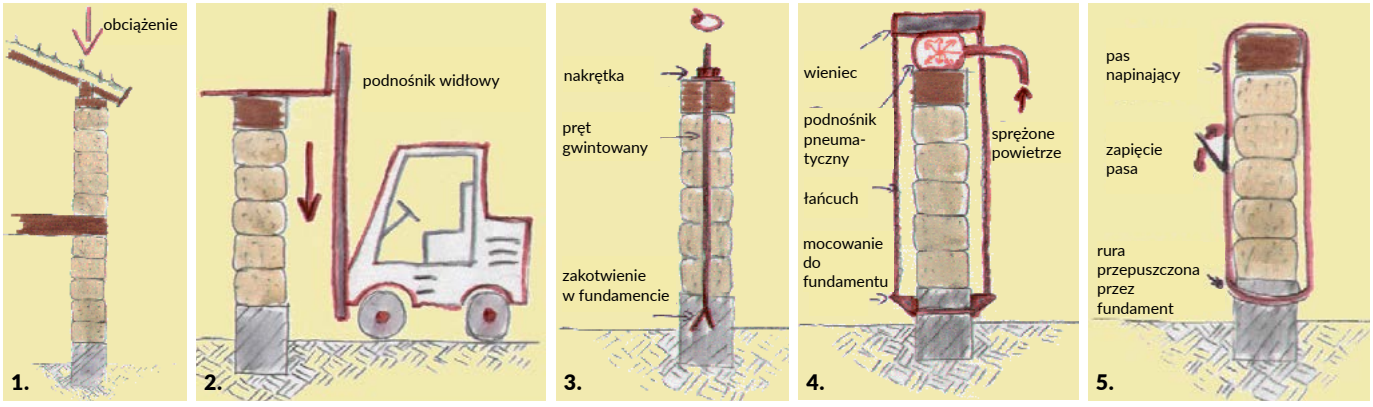
o maksymalnym obciążeniu ścian 20 kN/m². Poprzez zastosowanie dużych kostek oraz systemów hybrydowych można te ograniczenia zmniejszyć. Więcej na ten temat w rozdziale 12.1.

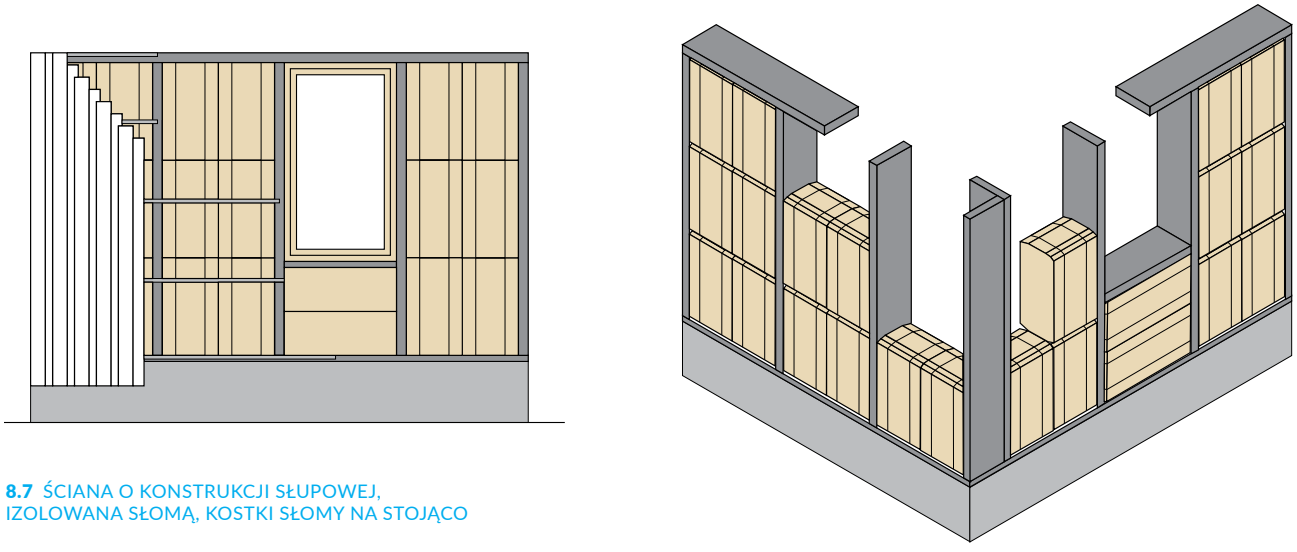
Przy budowie ścian nośnych ważne jest, by kostki słomy miały relatywnie dużą gęstość oraz by ściany zostały sprężone. W tym celu zakończona u góry wieńcem ściana połączona jest poprzez elementy ściągające z fundamentem. Przez skrócenie tych elementów następuje w ścianie sprężenie wstępne, które w przypadku idealnym powinno być tak duże, aby nie zanikło całkowicie ani w wyniku obciążeniu dachem oraz śniegiem, ani w następstwie relaksacji. Dzięki temu w trakcie użytkowania budynku nie powstaną szkody spowodowane osiadaniem. Ściąganie do fundamentu można przeprowadzić przy pomocy prętów gwintowanych przechodzących przez środek kostek albo przez obustronnie przebiegające elementy naprężające (rys. 8.5). Przy sprężaniu prętami, kostki należy na nie nabić, co wymaga czasu oraz podziału prętów na kilka części. Dlatego technika ta rzadko znajduje dzisiaj zastosowanie. Ponadto, w pewnych niekorzystnych warunkach na prętach może kondensować się woda, co prowadzi do powstawania grzybów pleśniowych. Łatwiej jest sprężać ścianę pasami. Tu jednak trzeba zauważyć, że ich równomierne naprężanie jest trudne do kontrolowania, a same pasy mogą przeszkadzać przy obróbce powierzchni ściany. Rysunki 8.6 przedstawiają możliwe metody sprężania wstępnego.

Wiele prób, przeprowadzonych na ścianach otynkowanych różnymi materiałami, dowodzi, że warstwy tynku znacznie wpływają na przenoszenie obciążeń. Ponieważ jednak wartości statyczne tynku są trudne do zdefiniowania, nie można ich w Niemczech uwzględniać przy przeprowadzaniu obliczeń statycznych. Dotyczy to zarówno obciążeń pionowych, jak i poziomych. Usztywnienie ściany nośnej na obciążenia poziome musi być w Niemczech zapewnione w inny sposób niż poprzez kostki słomy albo tynk.

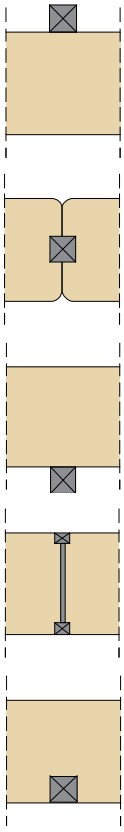
8.6 WARIANTY WYKONYWANIA SPRĘŻENIA WSTĘPNEGO (WEDŁUG [KRICK 2008])

1. POPRZEZ CIĘŻAR WŁASNY
2. PRZY POMOCY WÓZKA WIDŁOWEGO ALBO ŁADOWARKI TELESKOPOWEJ
3. PRZY UŻYCIU PRĘTÓW GWINTOWANYCH
4. PRZY POMOCY PODNOŚNIKA PNEUMATYCZNEGO
5. PRZY POMOCY PASÓW NAPINAJĄCYCH DLA CIĘŻARÓWEK ALBO DO TAŚM PAKUNKOWYCH





8.7 ŚCIANA O KONSTRUKCJI SŁUPOWEJ, IZOLOWANA SŁOMĄ, KOSTKI SŁOMY NA STOJĄCO



8.8 ŚCIANY Z KOSTEK SŁOMY W TECHNICE NIENOŚNEJ: ZASADY I USTAWIENIE SŁUPÓW

8.3 Ściany o nienośnym zastosowaniu kostek słomy

W ścianach w technice nienośnej, kostki słomy nie spełniają funkcji przenoszącej obciążenia. Przejmuje ją dodatkowa konstrukcja, najczęściej z elementów drewnianych (rys. 8.7).

Kostki słomy spełniają tu funkcję izolacji cieplnej, a nierzadko i zamknięcia ściany. Są one albo wypełnieniem przestrzeni między elementami nośnej konstrukcji ramowej lub szkieletowej, albo też stanowią ciągłą warstwę umieszczoną przed, tudzież za konstrukcją słupową. Na rys. 8.8 przedstawiono pięć możliwości ustawienia słupów drewnianych. W każdym przypadku należy kostki słomy łączyć z konstrukcją. Zapobiega to ich wypadaniu z przestrzeni między elementami drewnianymi czy oddzieleniu się całej ściany od słupów. Jeżeli systemy ramowe będą pokryte płytami albo przekątnym deskowaniem, to dzięki takiemu rozwiązaniu nastąpi usztywnienie ścian przeciw obciążeniom poziomym (np. wiatrowym). W systemach szkieletowych problem ten rozwiązuje zastosowanie zastrzałów, mieczy albo taśm stężających. Jeżeli kostki słomy zostaną otynkowane, to bez wątpienia warstwa tynku będzie miała działanie usztywniające, którego jednak w Niemczech w obliczeniach nie wolno brać pod uwagę.

8.4 Izolacja zewnętrzna z kostek słomy w nowym budownictwie

Kolejnym wariantem nienośnego zastosowania kostek słomy jest warstwa izolacji ze słomy, postawiona przed ścianą masywną. Ściana może być wykonana przykładowo z drewna klejonego warstwowo lub krzyżowo. Taka konstrukcja przejmuje zarówno obciążenia pionowe, jak i poziome. Kostki słomy, które mocuje się do ściany sznurkiem i wkrętami oczkowymi, służą tu tylko jako izolacja cieplna. Można je albo otynkować, albo też przykryć deskowaniem. Przykładami tego systemu są: zaplanowany jako dom pasywny budynek jednorodzinny w Maasholm (por. rozdz. 22.2) i *S-House* w Austrii (por. rozdz. 22.11)

8.9 i 8.10 ZEWNĘTRZNA WARSTWA IZOLACYJNA Z KOSTEK SŁOMY, BUDYNEK MIESZKALNY W LIENZINGEN

8.5 Dodatkowa izolacja kostkami słomy budynków istniejących

W budynkach istniejących, które mają złą izolację termiczną, można zastosować dodatkową, zewnętrzną warstwę izolacyjną z kostek słomy. Będzie to rozwiązanie korzystne finansowo i oszczędzające energię, jeżeli zastosujemy systemy mało pracochłonne, albo też będziemy dysponowali niedrogą siłą roboczą. Podobnie jak w opisanym wyżej przykładzie, należy tutaj mocno przytwierdzić warstwę kostek słomy do istniejącej ściany albo wypełniać kostkami słomy dostawioną do istniejącego muru konstrukcję szkieletową (por. zdjęcia 8.9 i 8.10). Drugi sposób ma tę zaletę, że słupy mogą służyć do zamocowania wentylowanej okładziny elewacyjnej.

Taki sposób budowania przynosi jednak zagrożenie rozprzestrzenienia się ognia poprzez fasadę. Nawet więc wtedy, gdy nie ma innych ku temu powodów, zaleca się położenie na słomę warstwy zewnętrznego tynku glinianego i gładkie jego zatarcie, aby zakryć ewentualnie wystające łodygi słomy i tym samym usunąć główne zagrożenie pożarowe.

Przez wykonanie izolacji z kostek słomy zwiększy się znacznie grubość ściany. Dodatkowy ciężar należy odprowadzić do podłoża. Można tego dokonać poprzez wykonanie dodatkowych fundamentów albo też zawieszając warstwę izolacyjną na istniejącej ścianie. Poza tym powstają głębokie wnęki okienne, a okap dachu musi często być powiększony.

8.6 Ocena porównawcza systemów

Konstrukcje nośne urzekają swoją prostotą, dużym potencjalnym wkładem pracy własnej podczas ich wznoszenia oraz tym, że wartościowy, oszczędzający energię i ekologiczny budynek można zbudować szybko i własnymi rękami. Zwolennicy tego sposobu budowania podkreślają prospołeczne aspekty wspólnego budowania.

Wadami będą tu ograniczone możliwości statyczne konstrukcji, trudności z uzyskaniem w Niemczech pozwolenia na budowę oraz zależność od warunków atmosferycznych w trakcie budowy, jeżeli nie zostało przewidziane specjalne zabezpieczenie.

Konstrukcje z nienośnym zastosowaniem słomy są obecnie w Niemczech w dużym stopniu akceptowane przez urzędy. Mają one ponadto wiele praktycznych zalet np. większą niezależność od pogody podczas budowy, czy też możliwość prefabrykacji. Potencjalny wkład pracy własnej jest tu jednak mniejszy niż w przypadku techniki nośnej.

Gdy wznoszony jest mały budynek, dostępna jest niedroga siła robocza, a problemy z uzyskaniem pozwolenia są rozwiązane, to konstrukcja nośna z kostek słomy może być oszczędniejszym rozwiązaniem. Przy większych budynkach, w szczególności wielokondygnacyjnych, nienośne zastosowanie kostek słomy wydaje się jednak bardziej rozsądne, z uwagi na aspekty urzędowe, ekonomiczne praktyczno-budowlane.

Na pytanie, czy dom z kostek słomy jest bardziej ekonomiczny niż konwencjonalnie izolowany, nie można jednoznacznie odpowiedzieć twierdząco. Zależy to bowiem od planowania, organizacji placu budowy i wielu innych czynników.

Jednoznaczną zaletą jest jednak aspekt ekologiczny. Słoma jest materiałem budowlanym, przy którego produkcji nie powstaje CO_2 ani inny szkodliwy dla środowiska związek chemiczny. Przeciwnie: dwutlenek węgla jest pobierany z powietrza i chemicznie wiązany. Ponadto, zaletą kostek słomy jest ich niska cena oraz możliwość budowy własnymi siłami. Z reguły można w ten sposób obniżyć koszty budowy.

Budynek izolowany kostkami słomy może uzyskać standard domu pasywnego (por. rozdz. 7) i w ten sposób przyczynić się do oszczędności energii i ochrony środowiska.

KONSTRUKCJE ŁUKOWE Z KOSTEK SŁOMY

Budowanie sklepień i kopuł z kostek słomy może być szczególnie interesujące ze względów ekonomicznych i estetycznych. Jeżeli konstrukcja łukowa rozpoczyna się bezpośrednio powyżej cokołu, to tworzy jednocześnie ścianę i dach budynku.

W 2003 roku zbudowano w Forstmehren w Westerwald kopułę z kostek słomy układanych na szkielecie z klejonych drewnianych łuków (rys. 9.1, por. rozdz. 22.23).

W roku 2007 powstało sklepienie z kostek słomy w Bad Schussenried, które służy jako mieszkanie wakacyjne. Konstrukcję, na której układano kostki słomy, tworzą zbite z desek łuki rozstawione w odstępach co 75 cm i przymocowane do nich co 30 cm łaty. Przekrój sklepienia ma statycznie optymalną formę odwróconej krzywej łańcuchowej. Kostki otynkowano z obu stron gliną i sprężono wstępnie pasami. Ochronę przed wpływami atmosferycznymi stanowi deskowanie na zakładkę z drewna modrzewiowego, położone na paroprzepuszczalnej folii dachowej (rys. 9.2 i 9.3).

Jeszcze bardziej ekonomiczne są nośne konstrukcje łukowe z kostek słomy. Aby ich realizacja była możliwa, opracowano w Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego (FEB) na Uniwersytecie Kassel urządzenie do przycinania kostek w kształt klińców (rys. 9.4). Dzięki takiemu kształtowi można je układać w łuki bez zaprawy i bez powstawania otwartych fug (rys. 9.5).

Przedstawione na rys. 9.7 trzy jednostki mieszkalne zbudowano tą techniką w Portugalii w 2007 roku (por. rozdz. 22.25).

Dwa lata później opracowano w FEB udoskonalone urządzenie tnące, przy pomocy którego można wykonać bardzo precyzyjne cięcia skośne równocześnie z dwóch stron kostki (rys. 9.6). Maszyna umożliwiła realizację kopuły nośnej, zaplanowanej przez Gernota Minke w roku 2010 (rys. 9.8). Budynek składa się

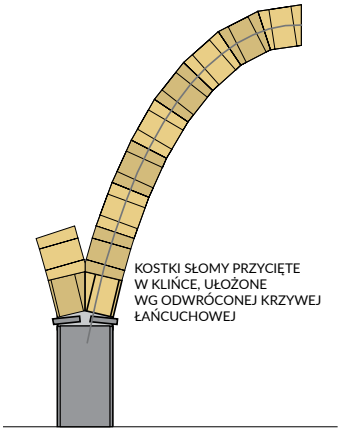
9.1 KOPUŁA Z KOSTEK SŁOMY, FORSTMEHREN (PROJEKT: GERNOT MINKE, FRIEDEMANN MAHLKE)

9.2 i 9.3 SKLEPIENIE Z KOSTEK SŁOMY JAKO DOM WAKACYJNY, BAD SCHUSSENRIED, 2007 (PROJEKT: GERNOT MINKE)

z położonej centralnie kopuły o średnicy 6 m oraz z ośmiu sklepień, które służą jako wnęki do siedzenia. Kopułę i łuki wykonano z kostek słomy jako elementów nośnych. Kopuła jest posadowiona na ośmiokątnym wieńcu i wykonana bez deskowania, przy pomocy prowadnicy z obrotowym ramieniem. Wszystkie konstrukcje łukowe zaprojektowano jako sprężone wstępnie pasami, a następnie pokryte zielonym dachem z regionalną roślinnością.

Przy pomocy urządzenia przedstawionego na rys. 9.6 można wykonywać także strop z nośnymi sklepieniami odcinkowymi, jak to przedstawiono na rys. 9.9. Takie

9.4



9.5

9.6

9.7

9.4 URZĄDZENIE DO CIĘCIA KOSTEK SŁOMY W KLIŃCE, FEB, 2007

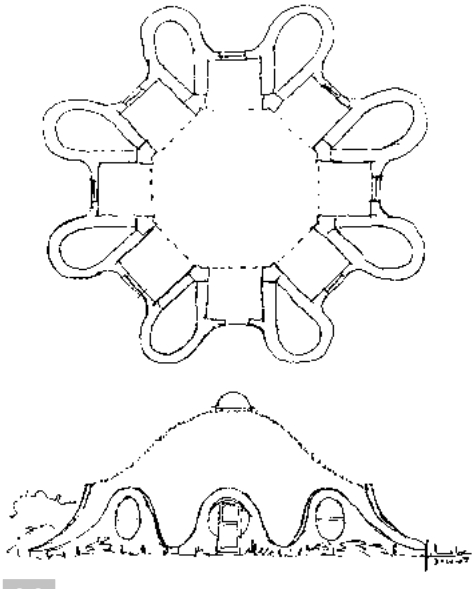
9.5 UŁOŻENIE KOSTEK SŁOMY W SKLEPIENIU

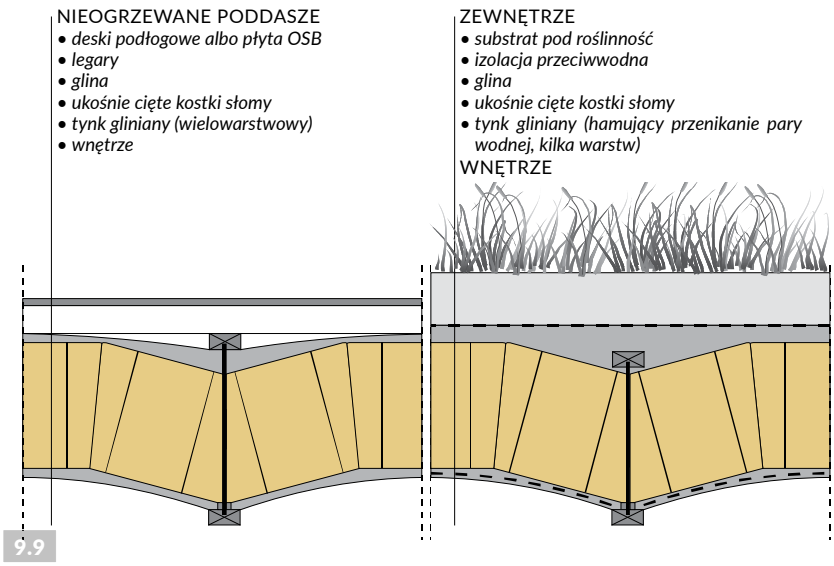
9.6 ULEPSZONE URZĄDZENIE DO CIĘCIA KOSTEK W KLIŃCE, FEB, 2009

9.7 POMIESZCZENIA MIESZKALNE W NOŚNYCH SKLEPIENIACH Z KOSTEK SŁOMY, TAMERA, PORTUGALIA, 2007 (PROJEKT: GERNOT MINKE)

9.8 KAWIARNIA Z NOŚNĄ KOPUŁĄ I NOŚNYMI SKLEPIENIAMI Z KOSTEK SŁOMY (PROJEKT: GERNOT MINKE)

9.9 STROP ZE SKLEPIENIAMI ODCINKOWYMI Z KOSTEK SŁOMY (PROJEKT: BENJAMIN KRICK, GERNOT MINKE)


9.8



9.9

10. IZOLACJA DACHU

rozwiązanie można zastosować jako izolowany strop pod nieizolowanym strychem albo jako konstrukcję pod zielony dach.

Izolacja dachu przy użyciu kostek słomy jest z reguły tylko wtedy ekonomicznie uzasadniona, kiedy już podczas powstawania projektu zostanie szczegółowo zaplanowana. Ważne jest, aby kostki dobrze pasowały między krokwie, tzn. ich rozstaw powinien uwzględniać wymiar kostek. W innym wypadku trzeba kostki przycinać albo duże powierzchnie wypełniać luźną słomą, co jest bardzo pracochłonne i kosztowne. Jeżeli zastosujemy standardowe, małe kostki (48×36×70-110 cm), to szczególnie ekonomicznym rozwiązaniem jest zaprojektowanie rozstawu w świetle krokwi trochę mniejszego niż podwójna szerokość kostek, a więc 94-95 cm. Wtedy można wcisnąć między krokwie dwie kostki obok siebie. Tylko przy kalenicy, przejściach instalacji oraz oknach trzeba kostki słomy przycinać. Wysokość krokwi powinna odpowiadać wysokości kostek (36 cm). Aby zredukować powstawanie mostków termicznych oraz zaoszczędzić materiał, zaleca się zastosowanie dwuteowników (por. rys. 10.1).

Stosując taką konstrukcję, można osiągnąć wartość $U = 0{,}15\ W/(m^2 \cdot K)$. Lepszą wartość współczynnika przewodności cieplnej można uzyskać poprzez dodatkowe ocieplenie zewnętrzne lub zastosowanie dużych kostek.

Jak widać na rys. 10.2, na spodzie krokwi umocowano deskowanie, a nad nim paroizolację np. z folii polietylenowej (PE). Służy ona równocześnie jako ochrona przed cząsteczkami słomy, które mogłyby wypadać przez szczeliny między deskami. Jeżeli zastąpimy deskowanie płytami OSB, które wykazują duży opór przenikania pary wodnej, to można zrezygnować z folii, pod warunkiem, że styki będą klejone (rys. 10.1).

W celu osiągnięcia przez deskowanie odporności ogniowej F30, trzeba dodatkowo od wewnątrz przymocować płyty gipsowo-włóknowe lub gipsowo-kartonowe o grubości 12,5 mm. Ponad kostkami słomy można położyć otwartą dyfuzyjnie folię dachową albo bitumowane płyty z włókna drzewnego. Powyżej znajdą się kontrłaty, łaty i pokrycie dachu.

Można też wykonać więźbę z krokwi o mniejszej wysokości, jeżeli kostki słomy położymy na konstrukcji (por. rys. 10.3). Kostki układamy wtedy na deskowaniu. Dzięki takiemu systemowi nie powstają mostki termiczne, a wymiary kostek nie mają dużego znaczenia, ponieważ nie muszą one być wciskane między krokwie. Łączna grubość całego dachu jest jednak znacznie większa.

Kiedy kostki słomy leżą na konstrukcji nośnej, powstaje pewien problem – powłoka chroniąca przed wpływami atmosferycznymi musi być tak umocowana, aby nie podniósł jej wiatr. Niezbędna jest też konstrukcja pomocnicza do montażu pokrycia dachu. Ponadto, w dachach pochyłych kostki mają skłonność do zsuwania się i w ten sposób przy kalenicy może powstać szpara*. Dlatego kostki należy szczelnie układać, mocno dociskając je do siebie.

Podobnych problemów można uniknąć, decydując się na zielony dach z wystarczająco grubą warstwą substratu (rys. 10.3). Powłoka dachowa nie przepuszczająca wody i odporna na korzenie roślin może w tym przypadku leżeć bezpośrednio na kostkach słomy. (Więcej na temat budowy zielonych dachów patrz G. Minke: *Dächer begrünen – einfach und wirkungsvoll*, wydawnictwo ökobuch, Staufen 2006).

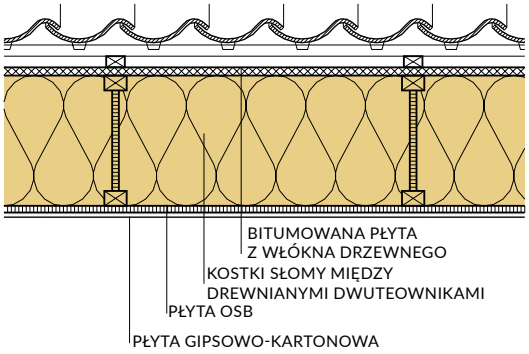
Ponieważ membrana hydroizolacyjna dachu zielonego jest szczelną powłoką nieprzepuszczającą pary wodnej, zaleca się poniżej izolacji termicznej umieścić dopasowującą się do zmiennych warunków warstwę regulującą przenikanie pary (paroizolację aktywną). Wykazuje ona mniejszą zdolność regulowania (hamowania) przenikania pary przy wyższej

* Chodzi tu o kompresję kostek pod własnym ciężarem, która wystąpi naturalnie, jeśli kostki w dachu zostaną ułożone bez zastosowania rozwiązań umożliwiających ich dociśnięcie

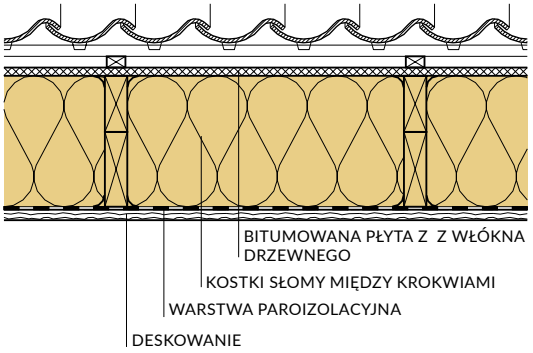
wilgotności niż przy niższej. Dzięki temu woda, która ewentualnie skropli się wewnątrz przegrody, może wyschnąć przez dyfuzję z powrotem do wewnątrz pomieszczenia.

We wszystkich omawianych przypadkach, w celu umożliwienia wyschnięcia ewentualnych resztek wilgoci lub wody kondensacyjnej, powstałej w wyniku błędnego wykonania paroizolacji, korzystne jest wentylowanie warstwy z kostek słomy (por. rys. 10.1 i 10.2).

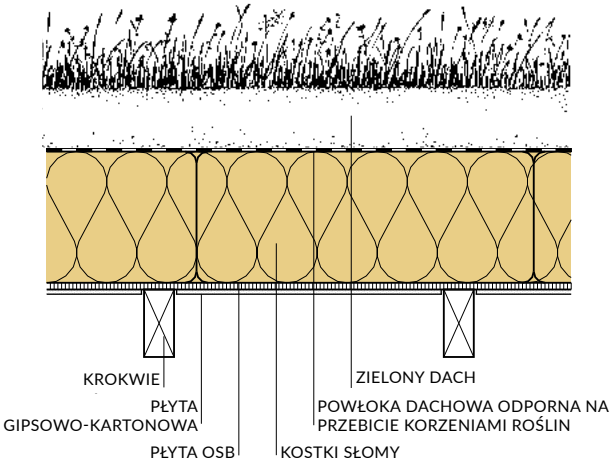
Wentylowane, pochyłe dachy z izolacją z kostek słomianych, według badań Centrum Budownictwa Przyjaznego Środowisku w Kassel (niem. *Zentrum für Umweltbewusstes Bauen*), zostały zakwalifikowane jako konstrukcje higrotermicznie nie budzące zastrzeżeń, pod warunkiem, że posiadają od wewnątrz warstwę regulującą przenikanie pary wodnej (paroizolację), a na zewnątrz lekką, dodatkową warstwę izolacji termicznej np. z płyt z włókna drzewnego [FASBA 2008] (por. rozdz. 4.4). Dachy zielone niewentylowane z aktywną paroizolacją nie zostały jeszcze zbadane.



10.1 BUDOWA DACHU Z KOSTKAMI SŁOMY MIĘDZY DWUTEOWNIKAMI DREWNIANYMI, Z PŁYTAMI OSB (JAKO USZTYWNIENIE I JAKO WARSTWA REGULUJĄCA PRZENIKANIE PARY WODNEJ), ORAZ Z BITUMOWANYMI PŁYTAMI Z WŁÓKNA DRZEWNEGO JAKO DODATKOWĄ IZOLACJĄ.



10.2 BUDOWA DACHU Z KOSTKAMI SŁOMY MIĘDZY KROKWIAMI, Z DESKOWANIEM, Z WARSTWĄ PAROIZOLACYJNĄ, BITUMOWANYMI PŁYTAMI Z WŁÓKNA DRZEWNEGO JAKO DODATKOWĄ IZOLACJĄ.



10.3 BUDOWA DACHU Z WIDOCZNYMI KROKWIAMI, IZOLACJĄ Z KOSTEK SŁOMY I ZIELONYM DACHEM

IZOLACJA PODŁOGI

W europejskich budynkach z kostek słomy oprócz konwencjonalnych konstrukcji podłóg stosowane bywają też takie, w których występuje izolacja termiczna z tego materiału.

Warunkiem wstępnym i koniecznym użycia do tego celu kostek słomy jest ich zabezpieczenie przed wilgocią podciąganą z podłoża. Kostki przed zabudowaniem muszą być całkowicie suche.

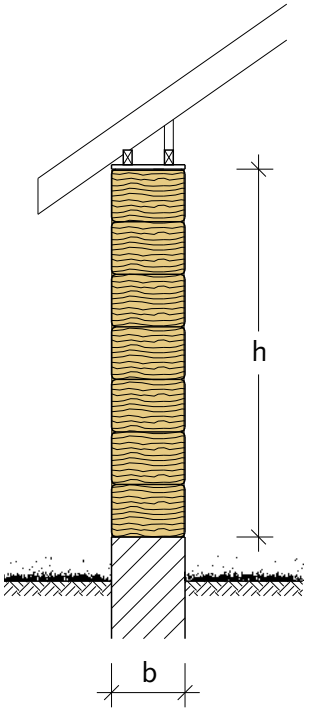
Prawdopodobnie najtańsze rozwiązanie wybrano dla budowli doświadczalnej, opisanej w rozdziale 22.1. W tym przypadku na gruncie rodzimym wysypano warstwę tłucznia o grubości ok. 10 cm, pokryto ją 3 cm piasku i położono folię polietylenową jako izolację przeciwwilgociową. Powyżej, warstwa z używanych palet drewnianych służy jako wentylowana konstrukcja nośna dla poukładanych na niej kostek słomy. „Pływającą podłogę" z płyt OSB grubości 24 mm położono bez legarów, bezpośrednio na słomie, a styki płyt połączono pasami OSB (o szerokości ok. 25 cm) oraz wkrętami.

W innej, także niskobudżetowej konstrukcji, nadającej się do działań typu zrób-to-sam, kostki słomy (z paroizolacją po „ciepłej stronie" tej termoizolacji) też leżą na paletach, ale te z kolei położono na starych oponach, aby oddzielić podłogę od wilgoci podłoża.

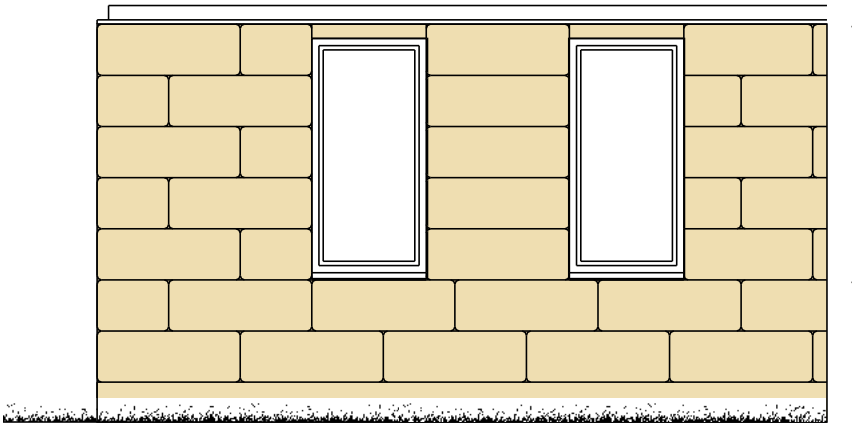
Uniesienie budynku na słupach skutkuje uzyskaniem słabo przewietrzanej przestrzeni pod podłogą i jest, według najnowszej wiedzy, nieskutecznym rozwiązaniem. Latem pod podłogę napływa ciepłe i wilgotne powietrze, które styka się zimnym podłożem. Jego ochłodzenie powoduje zwiększenie wilgotności i tworzenie się wody kondensacyjnej, co może prowadzić do powstawania pleśni. Dlatego nie zaleca się konstrukcji ze słabo wentylowaną przestrzenią podpodłogową.

W takich rozwiązaniach, gdzie stosuje się kostki słomy jako izolację podłogi, należy koniecznie uważać, aby woda, która dostała się do konstrukcji, mogła wyschnąć/przeniknąć na stronę pomieszczenia.

Dla konstrukcji podłóg nie przeprowadzono jeszcze dotychczas żadnych higrotermicznych symulacji.



12.1 PROPORCJE ŚCIANY b/h ≤ 1/6

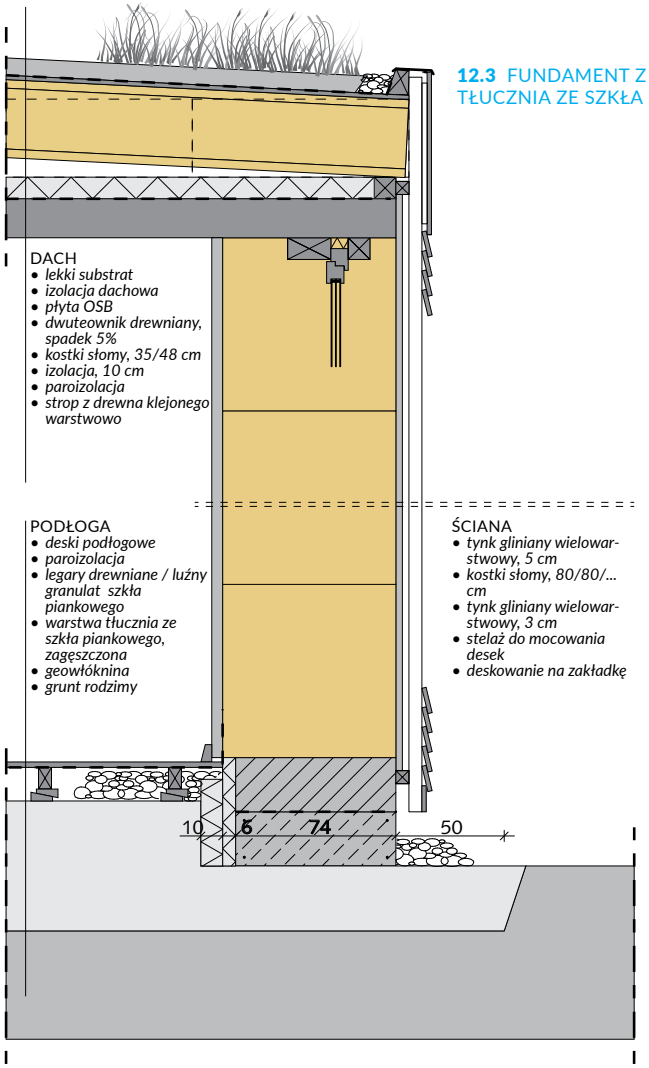


12.2 OTWORY W ŚCIANIE

12.1 Ściany nośne z kostek słomy

Ponieważ kostki słomy ulegają kompresji pod wpływem obciążenia, należy przy konstruowaniu z nich ścian nośnych zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- Obciążenie dachem musi być możliwie równomiernie rozłożone. W żadnym miejscu nie mogą występować siły skupione.
- Obciążenie dachem powinno być przekazywane możliwie równomiernie na całą szerokości ściany.
- Wysokość ściany nie powinna przekraczać sześciokrotnej jej grubości. Jeżeli ściana jest wzmocniona przeciw wybrzuszeniom poziomymi elementami usztywniającymi, to można tę wartość przekroczyć (rys. 12.1).
- Kostki powinny składać się z nieuszkodzonych łodyg i posiadać gęstość co najmniej 110 kg/m^3.
- Otwory okienne powinny być możliwie wąskie oraz mieć mniejszą szerokość niż wysokość (rys. 12.2).
- Stosowania nadproży okiennych i drzwiowych należy w miarę możliwości unikać. Rozmiary wieńca powinny być tak dobrane, by przejąć funkcję nadproży.
- Jeżeli nadproża są zaplanowane, to należy między nimi a wieńcem pozostawić odpowiedni odstęp, ponieważ kostki w ciągu pierwszych tygodni albo miesięcy mogą osiąść pod wpływem obciążenia dachem.
- Odstępy między otworami w ścianie, a także odstępy między otworami i następną ścianą, muszą odpowiadać co najmniej szerokości jednej kostki (rys. 12.2).
- Kiedy ściana jest szczególnie długa albo smukła (a także przy dużym obciążeniu dachem), należy ją wzmocnić dodatkowym usztywnieniem w celu zapobiegnięcia wybrzuszeniom.
- Obciążenia dachowe przekazywane na kostki słomy nie powinny przekraczać 20 kN/m^2.
- Ściany nośne należy poddać wystarczającemu sprężeniu wstępnemu (kompresji wstępnej).
- Jeżeli ściany nie były wstępnie sprężone, to przy obciążeniu 40 kN/m^2 należy liczyć się z osiadaniem do 10% (przy ułożeniu małych kostek na rąb) lub do 14% (kiedy kostki będą leżały na płasko). Przy kostkach wielkowymiarowych, które są mocniej sprasowane, osiadanie jest
odpowiednio mniejsze.
- Także ściany wstępnie sprężone mogą osiąść, jeżeli sprężenie było niewystarczające albo kiedy z biegiem czasu kost-



12.3 FUNDAMENT Z WARSTWĄ TŁUCZNIA ZE SZKŁA PIANKOWEGO

ki uległy rozprężeniu.

Do wykonywania ścian nośnych korzystniejsze jest zastosowanie kostek wielkowymiarowych, ponieważ posiadają one większą powierzchnię, na którą rozkładają się obciążenia, a ponadto są mocniej sprasowane i dlatego ulegają mniejszej deformacji pod wpływem działających sił.

Ponieważ pod grubymi ścianami potrzebne są z reguły szerokie i drogie fundamenty, należy wybrać takie rozwiązanie, które jest dopuszczane przez urzędy, ale gdzie fundament nie musi sięgać na głębokość poniżej przemarzania gruntu, tj. 80-90 cm. Przykład przedstawiony na rys. 12.3 pokazuje warstwę przerywającą podciąganie kapilarne, wykonaną z tłucznia ze szkła piankowego. Musi ona wystawać poza fundament na co najmniej 50 cm i mieć grubość minimum 30 cm. Na tej warstwie posadowiono cienką ławę fundamentową.

Zdjęcia 12.4 do 12.7 demonstrują ciekawe konstrukcje dachowe, które gwarantują w dużym stopniu równomierne obciążenie ścian. Podobny efekt dają dachy o kształcie piramidy. Typowe dachy jedno-, dwu- albo czterospadowe mogą stwarzać

12.4 - 12.7 DACHY TYPU HOGAN NAD BUDYNKAMI O RZUTACH OŚMIOKĄTNYCH I KWADRATOWYCH (PROJEKT: GERNOT MINKE)

12.2 Ściany o nienośnym zastosowaniu kostek słomy

problemy konstrukcyjne.

Już w fazie planowania konstrukcji słupowych, izolowanych kostkami słomy, ważne jest wzajemne położenie tych elementów. Rysunek 12.8 przedstawia różne możliwości ich ustawienia.

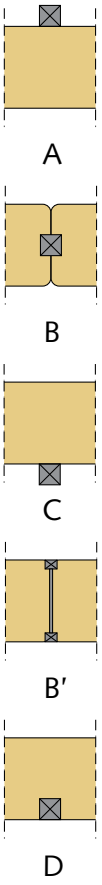
Jeżeli słupy znajdują się poza ścianami (położenie A i C), to jedynie przy otworach okiennych i drzwiowych istotna jest długość kostek. Kiedy słupy są między kostkami słomy (położenie B i B´), zaleca się wybrać taki ich rozstaw, który odpowiada długości kostek, względnie ich jedno- lub dwukrotnej szerokości. W tym wypadku także otwory okienne i drzwiowe powinny mieć taka samą szerokość.

Gdy słup wykonany jest na całą szerokość ściany jako „drabinka”* lub dwuteownik (B´), to konstrukcja ma tę zaletę, że można bezpośrednio do niej mocować wentylowane deskowanie lub wierzchnią izolację termiczną. Zastosowanie dwuteowników daje, zarówno od wewnątrz jak i na zewnątrz, stosunkowo równą powierzchnię, ponieważ kostki, z ich lekko zaokrąglonymi krawędziami, można łatwo wcisnąć między słupy. Do innych słupów o szerokości ściany można przymocować trójkątne listwy, aby kostki nie wypadały z konstrukcji.

Kiedy stosujemy kostki o różnej długości albo też słupy (np. ze względów optymalizacji konstrukcji) znajdują się w odległościach różnych od długości kostek, należy stawiać słupy od wewnątrz albo na zewnątrz, poza warstwą kostek słomy. W obu przypadkach kostki należy układać z przewiązaniem, tak aby styki pionowe się nie spotykały (rys. 12.2 i 12.10).

Ustawienie słupów po zimnej, zewnętrznej stronie ściany ma następujące wady: są one potencjalnie narażone na działanie warunków atmosferycznych, a płaszczyzna izolacji musi często być przerwana przez elementy konstrukcyjne, co utrudnia wykonanie szczelnej powierzchni i jest źródłem mostków termicznych.

12.9 WYCINANIE BRUZD NA SŁUPY



12.8 MOŻLIWE UKŁADY SŁUPÓW W ŚCIANIE

Rozwiązanie D (rys. 12.8), gdzie w kostkach wycięto wgłębienia, może być korzystne dla kształtowania powierzchni wewnętrznej ściany, a zwłaszcza dla zmniejszenia jej grubości. Ponadto, łatwiejsze będzie mocowanie regałów i szafek
wiszących. Rys. 12.9 przedstawia takie wycięcie wykonane piłą łańcuchową.

Korzystne jest układanie kostek na rąb lub pionowo. Przy mniejszej szerokości ściany jest wtedy możliwe uzyskanie lepszej wartości współczynnika U (por. rozdz. 4.1).

W następnych rozdziałach dokładnie

* W Polsce takie słupy nazywa się często słupami dwugałęziowymi. Podobieństwo do drabiny (niem. *Leiter*) polega na tym, że dwie pionowe części słupa połączone są najczęściej poziomymi przewiązkami)

omówione są możliwości budowy poszczególnych części ścian oraz przedstawione ich połączenia. Korzystne rozwiązania
zilustrowano rysunkami.

Rodzaj fundamentu zależy przede wszystkim od głębokości przemarzania gruntu i jego nośności. Ściana z kostek słomy, w porównaniu z konwencjonalną, jest najczęściej grubsza i fundament powinien być odpowiednio szeroki, przez co droższy. Dlatego w pojedynczych przypadkach uzasadnione jest zastosowanie fundamentów punktowych i oparcie na nich belek. Rys. 12.10 pokazuje zoptymalizowany statycznie układ z jedną belką na dwóch fundamentach punktowych. Jest to rozwiązanie oszczędne, czego dowodzi opisany w rozdziale 22.1 przykład budowli eksperymentalnej.

Także ława fundamentowa ze znalezionych w pobliżu budowy kamieni albo pozyskanych z recyklingu cegieł może być rozwiązaniem oszczędnym, jeżeli prace murarskie wykonamy we własnym zakresie. Inną ekonomiczną konstrukcją jest płyta fundamentowa położona na warstwie izolacji termicznej z tłucznia ze szkła piankowego (por. rys. 12.11)*.

Tłuczeń (o frakcji np. 0-90 mm) wykonywany jest poprzez spienianie odpadowego szkła, które nie nadaje się już do produkcji pełnowartościowego szkła. Warstwa, zagęszczona przez wibrowanie (w stosunku 1,3:1), posiada zdolność przenikania ciepła 0,08 W(m·K). W stanie luźnym wartość ta wynosi 0,06 W(m·K).

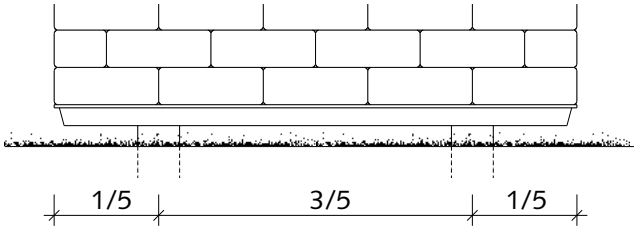
Izolacja taka może spełniać także funkcję przerwy kapilarnej. Warstwę odcinającą podnoszącą się parę wodną i ewentualnie, radon trzeba wykonać osobno. Należy zawsze zwracać uwagę na to, by w strefie fundamentu oraz cokołu nie powstały mostki termiczne.

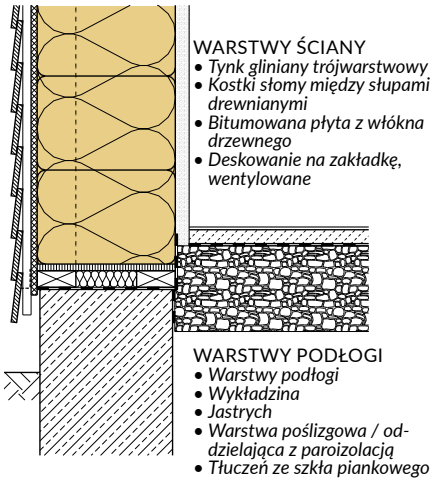
Mniej konwencjonalnym rozwiązaniem jest wykorzystanie jako fundamentu starych opon samochodowych wypełnionych chudym betonem. Będzie to konstrukcja tania, jeśli zostanie wykonana we własnym zakresie ze zużytych opon, które można dostać za darmo na stacjach benzynowych albo w warsztatach dokonujących ich wymiany (rys. 12.14). Wypełnienie opon wymaga niewielkiej ilości betonu, jeżeli dodamy do niego gruz albo duże kamienie.

Cokół służy do podniesienia ściany z kostek słomy ponad strefę odprysku wody deszczowej. Musi on więc być odporny na działanie wody, nie może wchłaniać za dużo wilgoci, powinien być też wystarczająco izolowany termicznie i wytrzymały na ściskanie. Te kryteria spełnia np. mur z lekkich pustaków ceramicznych o wysokiej izolacyjności (niem. *Leichthochlochziegeln* (LHLZ)), który jest pokryty z zewnątrz wodoszczelnym tynkiem (rys. 12.12). Ponieważ taki tynk stanowi barierę dla pary wodnej, także od wewnątrz należy w strefie cokołu zastosować tynk o takich parametrach (lub inną paroizolację).

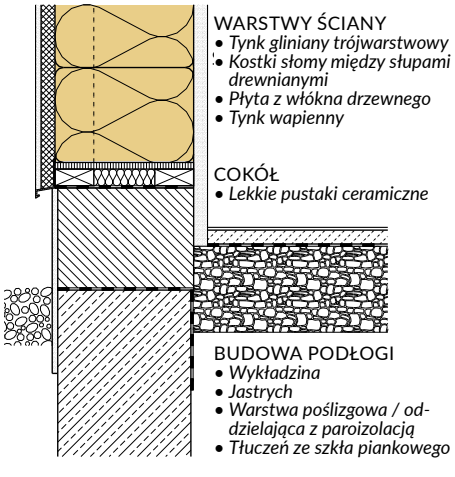
Korzystnym rozwiązaniem jest położenie pierwszej warstwy kostek słomy kilka centymetrów ponad poziomem gotowej podłogi. Zapobiega to dostawaniu się wody

12.10 STATYCZNIE ZOPTYMALIZOWANE ROZMIESZCZENIE FUNDAMENTÓW PUNKTOWYCH



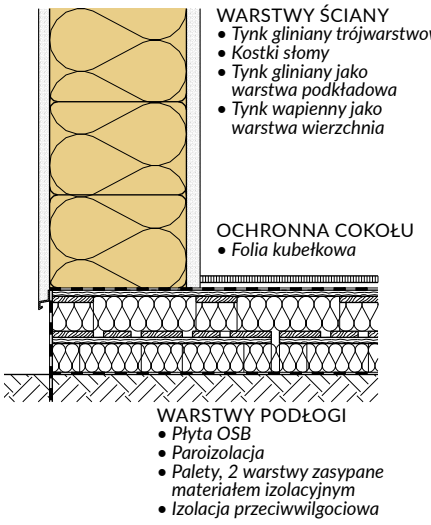


12.11 WARSTWA PRZERWY KAPILARNEJ I IZOLACJA TERMICZNA ZE SZKŁA PIANKOWEGO

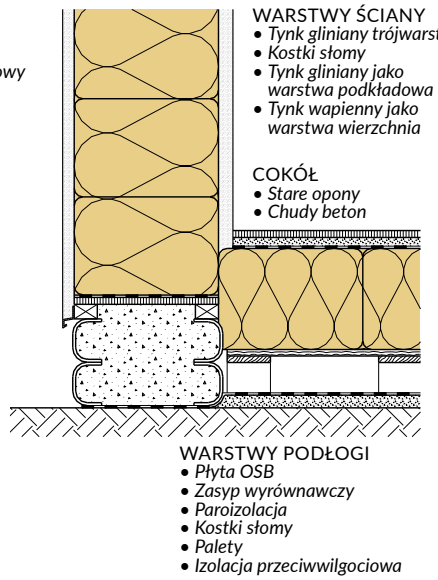


12.12 BUDOWA COKOŁU

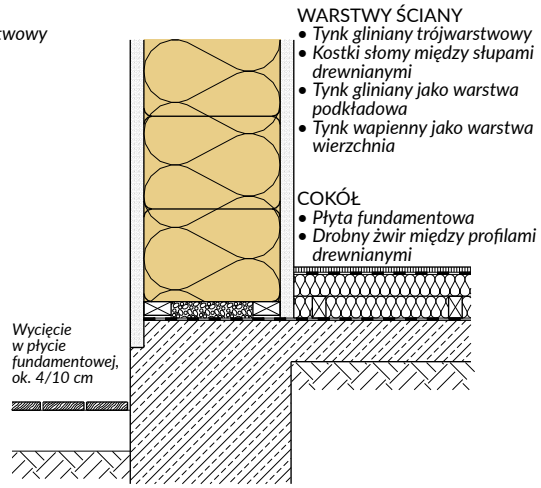
* Informacja dotyczy rynku niemieckiego. W Polsce jak dotychczas szkło piankowe nie jest rozpowszechnionym materiałem i koszty transportu są z reguły wysokie.



12.13 BUDOWA COKOŁU Z PALETAMI



12.14 BUDOWA COKOŁU ZE STARYMI OPONAMI



12.15 BUDOWA COKOŁU Z WYCIĘCIEM NA OPARCIE TYNKU I WARSTWĄ ŻWIRU

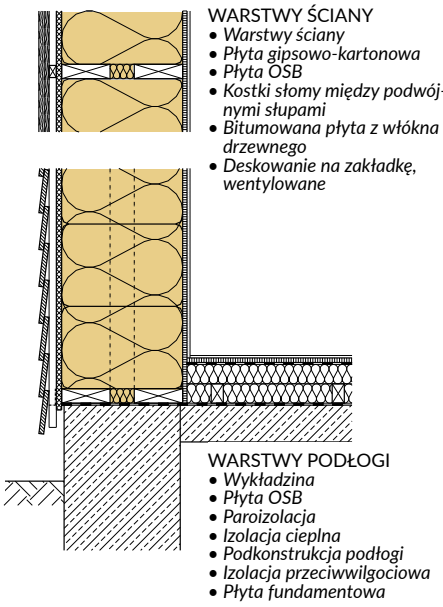
do słomy (por. rys. 12.12). Na rys. 12.13 i 12.14 przedstawiono dwa rozwiązania eksperymentalne (z paletami i starymi oponami), nadające się do wykonania samemu. W paletach należy wypełnić puste przestrzenie materiałem do izolacji cieplnej, np. resztkami opakowań styropianowych. Z zewnątrz natomiast kładzie się warstwę nieprzepuszczającą wody np. z folii kubełkowej. Opony można wypełnić chudym betonem.

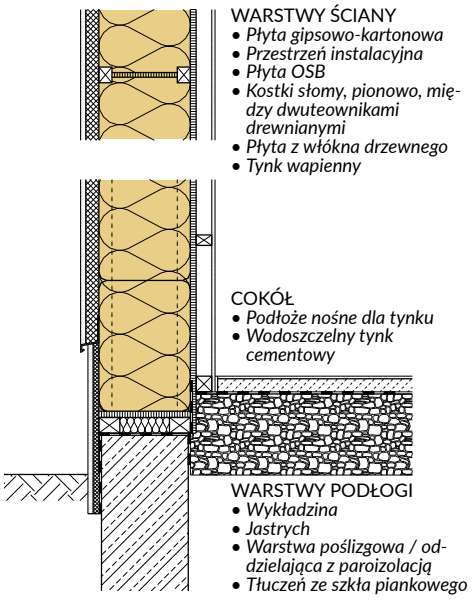
Rys. 12.15 pokazuje rozwiązanie stosowane w Australii przez Franka Thomasa.

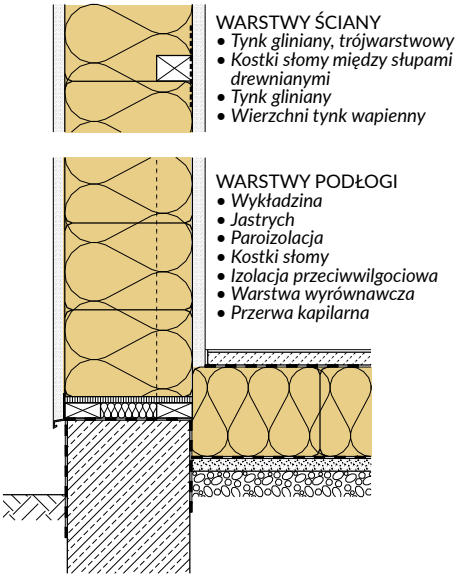
Płyta fundamentowa jest tu wycięta na wysokość ok. 10 cm i na grubość tynku. W ten sposób tynk ma podparcie, co zapobiega powstawaniu w nim rys przez ewentualne lekkie obsunięcia. Dzięki uniesieniu podwalin drewnianych, łatwo jest przetknąć pod nimi pasy napinające, aby sprężyć wstępnie ścianę. Pod kostkami słomy położono warstwę żwiru, w której może zbierać się woda kondensacyjna w wypadku jej pojawienia się. Gdyby kostki leżały bezpośrednio na folii albo papie bitumicznej, to w wypadku kondensacji wody może pojawić się niebezpieczeństwo gnicia słomy. Z tego względu wilgoć zawsze musi mieć możliwość dyfuzji z powrotem do pomieszczenia.

Przy połączeniu ściany z fundamentem

12.16-12.18 ZGODNE Z ZASADAMI FIZYKI BUDOWLI WYKONANIE DETALI POŁĄCZEŃ FUNDAMENTU, PODŁOGI I COKOŁU (PRZEKROJE PIONOWE, A NAD NIMI POZIOME).







i podłogą należy przede wszystkim zwracać uwagę, aby nie powstały tam mostki termiczne. Cokół z kolei należy zabezpieczyć przed odpryskującą wodą deszczową, aby uniemożliwić zmoczenie słomy, czy też położonego na niej tynku glinianego. Rysunki 12.16 do 12.18 pokazują kilka możliwych rozwiązań.

Rozmieszczenie słupów

Przed ustaleniem długości ścian, a także wielkości otworów, rozsądne jest narysowanie siatki, która uwzględnia długość stosowanych kostek słomy, a przy kostkach stojących, ich podwójną szerokość. Jest tak dlatego, że skracanie kostek na potrzebny wymiar jest bardzo czasochłonne.

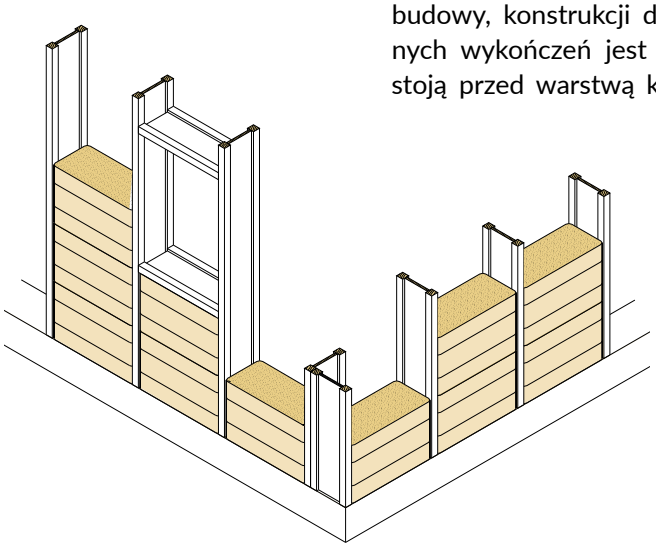
Dodatkową istotną sprawą dla procesu budowy, konstrukcji detali oraz stosowanych wykończeń jest decyzja, czy słupy stoją przed warstwą kostek słomy, w jej środku, czy też za nią. Trzeba też ustalić, czy będą to profile pojedyncze, czy łączone np. słupy dwugałęziowe albo dwuteowe (por. rys. 12.19 do 12.21).

Jeżeli warstwa z kostek słomy stoi przed albo za słupową konstrukcją drewnianą, musi być z nią połączona, chyba że jest między fundamentem a wieńcem wystarczająco sprężona, by zabezpieczyć ją przed wybrzuszeniem.

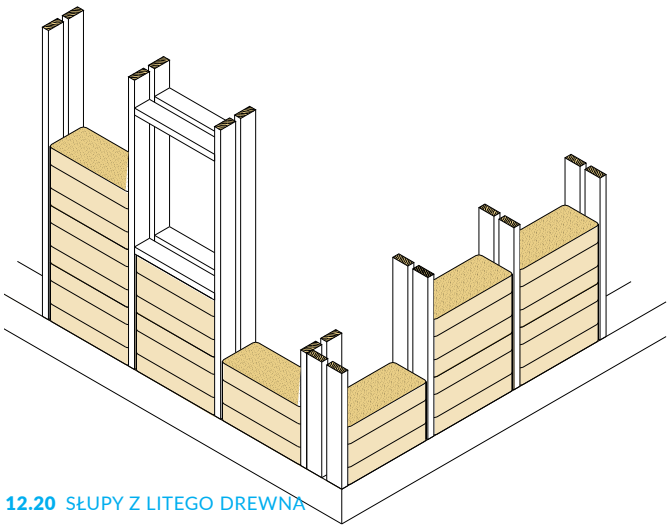
Wzajemne położenie słupów i powierzchni kostek słomy ma ważny wpływ na kształtowanie powierzchni ściany i możliwości stosowania wykończeń. Jeśli słupy licują z powierzchnią słomy, to przed tynkowaniem trzeba do drewna przymocować element, który będzie stanowił podłoże dla tynku np. matę z trzciny. Ponadto zaleca się stosować w tynku odporną na rozciąganie siatkę zbrojeniową, ponieważ drewno pracuje przy różnicach wilgotności (rozszerza się lub kurczy) i tynk może łatwo popękać.

Jeżeli słupy stoją przed warstwą kostek słomy, które mają być pokryte tynkiem, to powoduje to także utrudnienie tynkowania. Również w tym przypadku niezbędne jest uzyskanie szczelnej powietrznie powierzchni. Dlatego trzeba słupy i połączenia otynkować, używając mat podtynkowych i siatek.

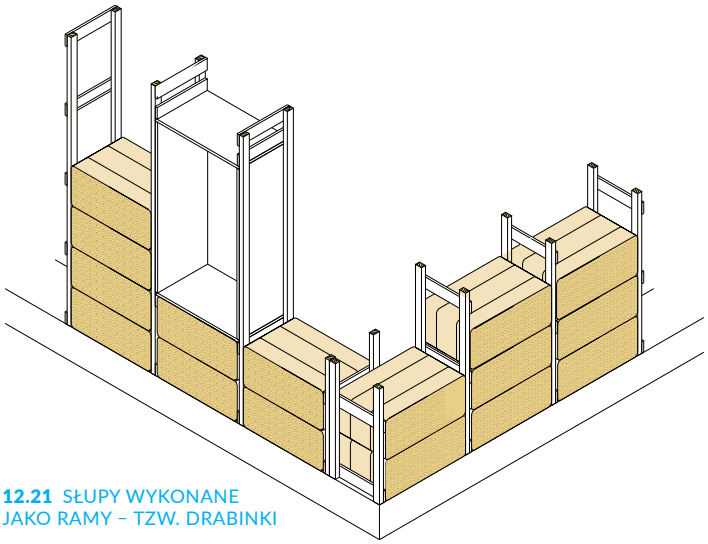
Gdy planuje się pokrycie ściany płytami gipsowo-włóknowymi, z włókien drzewnych, OSB, gipsowo-kartonowymi albo sklejką, należy tak ustawić słupy, aby



12.19 SŁUPY Z DWUTEOWNIKÓW



12.20 SŁUPY Z LITEGO DREWNA



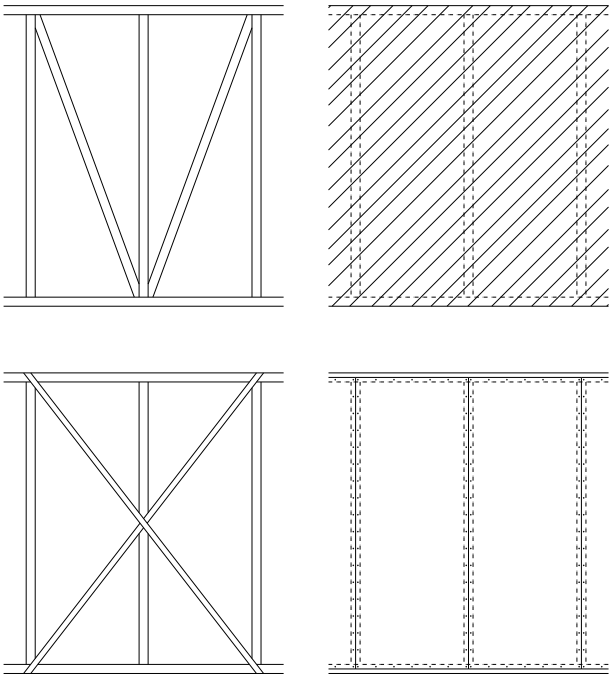
12.21 SŁUPY WYKONANE JAKO RAMY – TZW. DRABINKI

mogły służyć do ich zamocowania. Ta zasada obowiązuje też przy zewnętrznej fasadzie z wentylowanych desek albo płyt.

Usztywnienie przeciw działaniu sił poziomych

Ponieważ kostki słomy nie usztywniają ściany, trzeba konstrukcje słupowe, podobnie jak w budowlach konwencjonalnych, usztywniać z uwagi na działanie sił poziomych np. obciążeń wiatrem.

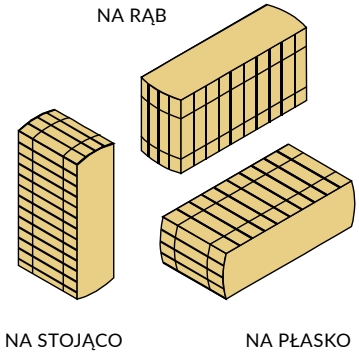
Konstrukcja z pojedynczych słupów ustawionych w środku ściany jest rozwiązaniem niekorzystnym, ponieważ usztywniające elementy umiejscowione po przekątnych bardzo utrudniają montaż kostek. Lepszym wyjściem jest stosowanie np. słupów łączonych, z bali, z dwuteowników czy słupów drabinowych, które są tej samej szerokości, co grubość kostek. Można wtedy wykonać usztywnienia diagonalne przeciw siłom poziomym w formie deskowań, zastrzałów/wiatrownic, taśm stalowych albo sztywnych płyt, np. OSB (por. rys. 12.22).



12.22 USZTYWNIENIE PRZECIW DZIAŁANIU SIŁ POZIOMYCH

Ułożenie kostek słomy

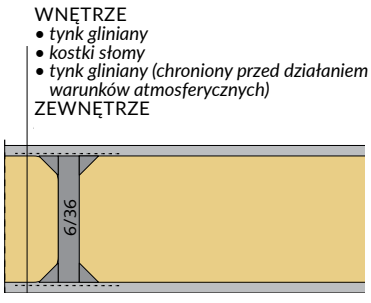
Kostki słomy mogą być układane w ścianie na płasko, na rąb lub na stojąco (rys. 12.23). Dla kostek kładzionych na rąb i na stojąco ułożenie łodyg jest prostopadłe do kierunku przenikania ciepła. W takim przypadku izolacyjność cieplna słomy jest większa, a przekrój ściany może być mniejszy (por. rozdz. 4.1). Natomiast tynkowanie kostek słomy w takim ułożeniu jest trudniejsze.



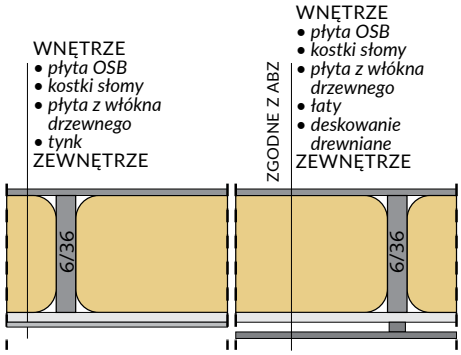
12.23 UŁOŻENIE KOSTEK SŁOMY

Połączenia kostek między sobą oraz

12.24 STABILIZACJA POŁOŻENIA KOSTEK SŁOMY POPRZEZ ODPOWIEDNI KSZTAŁT SŁUPÓW (PRZEKRÓJ POZIOMY)



12.25 STABILIZACJA POŁOŻENIA KOSTEK SŁOMY POPRZEZ ODPOWIEDNI KSZTAŁT SŁUPÓW, Z TRÓJKĄTNYMI LISTWAMI



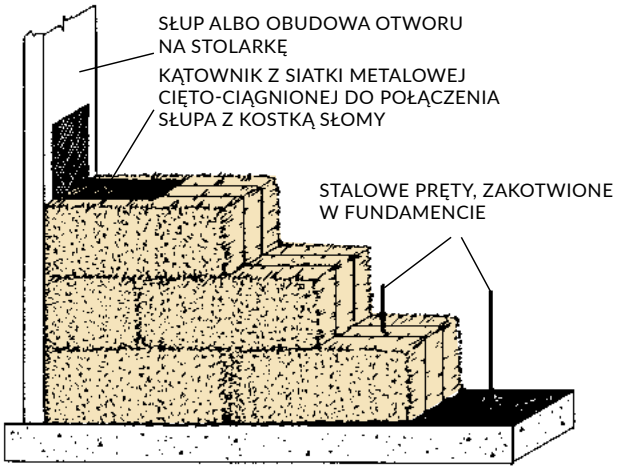
12.26 ŚCIANA Z OBUSTRONNYM DESKOWANIEM, WEDŁUG ZASAD APROBATY TECHNICZNEJ (AbZ)

ze słupami

W konstrukcjach o nienośnym zastosowaniu kostek słomy, aby uniknąć wybrzuszeń i wypadania kostek ze ścian, należy je z reguły łączyć ze szkieletem nośnym. W rozwiązaniach, w których słupy mają kształt dwuteowników, kostki mają wystarczające oparcie (rys. 12.24). W konstrukcjach, gdzie zastosowano słupy o konstrukcji skrzynkowej albo z litego drewna, można przymocować trójkątne listwy od środka i od strony zewnętrznej w celu stabilizacji kostek (rys. 12.25).

W przypadku (rys. 12.26), w którym z obydwu stron ściany wykonano deskowanie, kostki słomy są trwale zabudowane.

12.27 ŁĄCZENIE KOSTEK SŁOMY WEDŁUG PRZEPISÓW (BUILDING CODE) OBOWIĄZUJĄCYCH W NOWYM MEKSYKU.



Przy tym rozwiązaniu można dodatkowo położyć tynk na macie tynkarskiej albo przymocować deskowanie poziome – na zakładkę lub pionowe – „deska na deskę".

W konstrukcjach nośnych z kostek słomy należy łączyć kostki między sobą oraz mocować je do fundamentu i do wieńca. Ryc. 12.27 pokazuje dwie kolejne możliwości, odpowiadające przepisom obowiązującym w Nowym Meksyku (USA).

Narożniki ścian

Ze względów konstrukcyjnych, w przypadku ścian nośnych z kostek słomy, jest istotne, żeby na narożnikach kostki słomy zazębiały się* albo były podparte przez elementy drewniane. W ten sposób ściany będą stanowić dla siebie nawzajem usztywnienie przeciw siłom poziomym, a końce ścian zostaną zabezpieczone przed wybrzuszaniem się na zewnątrz.

Rys. 12.28 przedstawia rozwiązanie, w którym końce ścian są usztywnione elementami stanowiącymi obudowy otworów

* Przez „zazębianie" należy tu rozumieć wykonanie narożnika z poprawnym przewiązaniem – podobnie jak układa się cegły w narożniku ściany murowanej

12.28 USZTYWNIENIE ŚCIANY ELEMENTAMI, KTÓRE STANOWIĄ OBUDOWY OTWORÓW OKIENNYCH I DRZWIOWYCH.

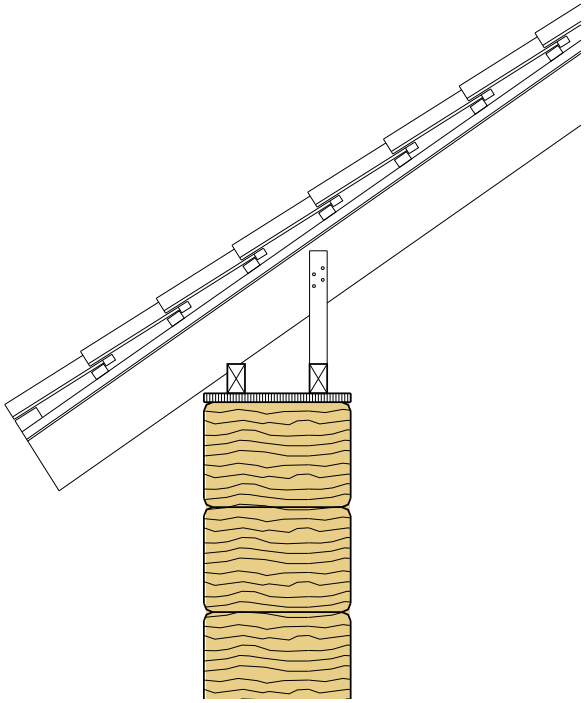
12.5 Wieńce

okiennych i drzwiowych.

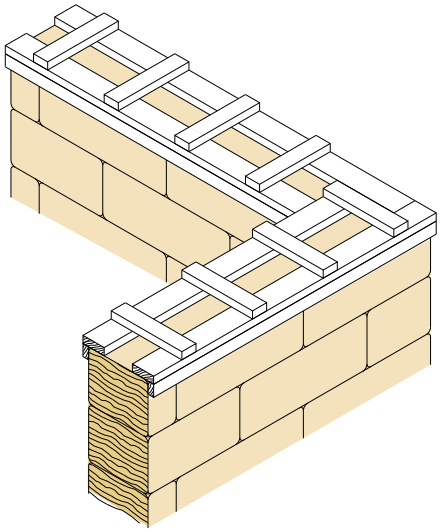
W narożnikach ścian z zazębiającymi się kostkami zaleca się je łączyć wbijanymi pionowo palikami drewnianymi, które przechodzą przez dwie i pół warstwy kostek słomy. W przypadku kostek wielkowymiarowych, z uwagi na ich mocne sprasowanie, wbijanie palików drewnianych jest trudne. Można wtedy użyć stalowych klamer w kształcie litery U.

Wieniec, górne zakończenie ściany, spełnia kilka funkcji: przejmuje obciążenie dachu i przekazuje go równomiernie na ściany, stabilizuje przeciw wybrzuszeniom górną warstwę kostek, a tym samym całą ścianę. Wzmacnia też usztywniające działanie narożników i może służyć za nadproża drzwiowe i okienne.

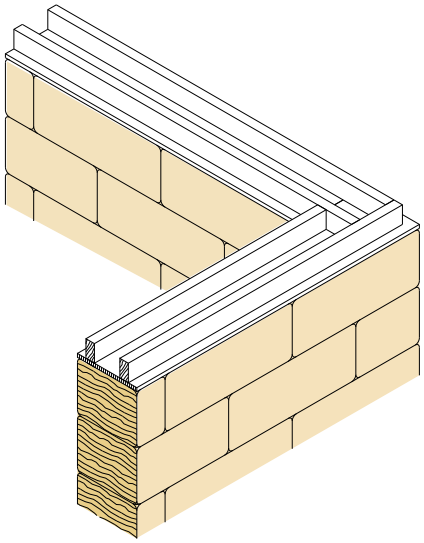
Wieniec powinien więc być sztywny i mieć, jeśli to możliwe, szerokość ściany. Konstrukcją, która się sprawdziła jako oszczędna materiałowo i równomiernie przekazująca obciążenia z dachu na ściany, jest wieniec tzw. drabinowy (rys. 12.30). W celu przeniesienia obciążeń można też pod właściwym wieńcem położyć sklejkę lub płyty OSB (rys. 12.31). Lekkie i bardzo dobrze przenoszące obciążenia są wieńce wykonane z drewnianych dwuteowników (rys. 12.32).



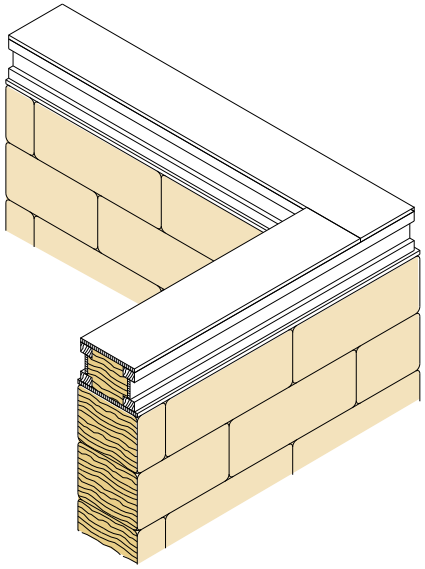
12.29 PRZEKAZANIE OBCIĄŻEŃ Z DACHU SKOŚNEGO



12.30 WIENIEC JAKO KONSTRUKCJA „DRABINOWA”



12.31 WIENIEC Z PŁYTĄ PRZEKAZUJĄCĄ OBCIĄŻENIA



12.32 WIENIEC JAKO KONSTRUKCJA SKRZYNKOWA (Z DWUTEOWNIKÓW)

12.33, 12.34 PRZYGOTOWANIA DO MONTAŻU OKIEN

12.6 Okna i drzwi

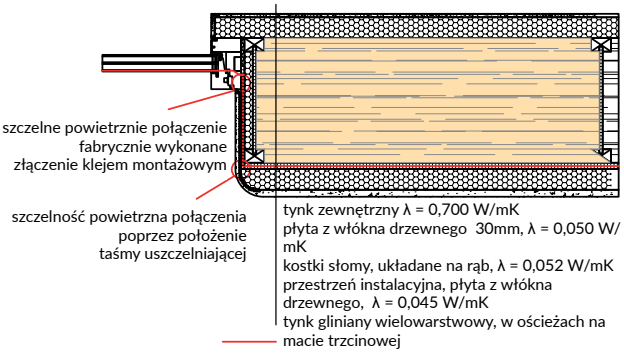
Należy koniecznie pilnować, aby ciężar dachu był przekazywany osiowo na środek ściany i tym samym na środek wieńca. Rys. 12.29 pokazuje, w jaki sposób można to osiągnąć przy dachu spadzistym. Jednocześnie nie wolno zapominać o prewencji powstawania mostków termicznych.

Wieńce z reguły wykonywane są z drewna. Istnieją także przykłady budynków, gdzie zrobiono je ze stali albo żelbetu. Takie rozwiązania nie są odpowiednie z uwagi na powstawanie mostków termicznych .

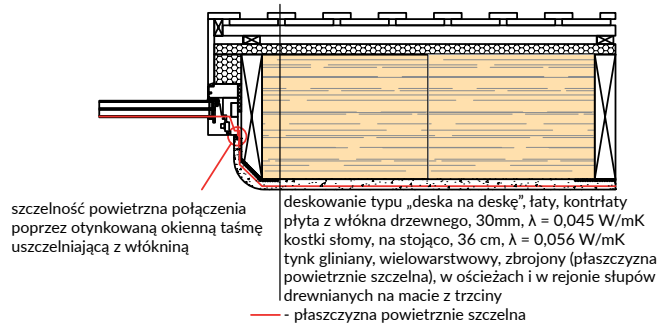
Układ oraz budowa połączeń okiennych i drzwiowych są decydujące dla zapobiegania powstawania szkód budowlanych. Ponieważ te problemy są takie same dla obydwu rodzajów otworów, omówimy tylko zagadnienia dotyczące okien.

Aby zapobiec tworzeniu się mostków termicznych, należy ościeżnice możliwie dokładnie zaizolować. Okno osadzone głęboko, bliżej wnętrza budynku, powoduje od strony zewnętrznej konieczność skomplikowanej zabudowy parapetu, którego brzegi powinny być wyprowadzone dość wysoko w górę, ponieważ należy liczyć się z zaleganiem śniegu i lodu.

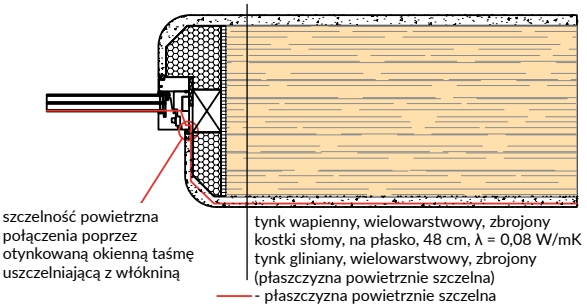
W tynku zewnętrznym, problematycznym elementem jest spoina, powstająca na styku z ościeżnicą, ponieważ woda może dostawać się tamtędy do środka. Aby temu zapobiec, należy położyć w tym miejscu taśmę uszczelniającą i przykryć ją listwą albo też wypełnić spoinę materiałem trwale elastycznym. Narożnik, po zamontowaniu profilu tynkarskiego, można wykonać „na ostro" albo jak na rys. 12.36, lekko go zaokrąglając. Narożniki zaokrąglone czy ścięte dają więcej



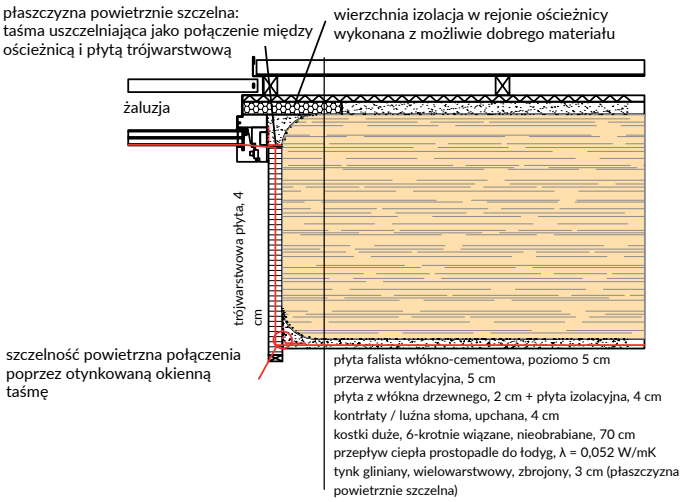
12.35 SZCZEGÓŁ POŁĄCZENIA OKNA ZE SŁUPEM DWUTEOWYM, KOSTKI NA RĄB



12.36 POŁĄCZENIE OKNA ZE ŚCIANĄ Z LITYMI SŁUPAMI DREWNIANYMI, KOSTKI STOJĄCE



12.37 SZCZEGÓŁ POŁĄCZENIA OKNA W ŚCIANIE NOŚNEJ, KOSTKI NA PŁASKO



12.38 POŁĄCZENIE OKIENNE W SŁOMIANYM DOMU PASYWNYM STROH-PASSIVHAUS KRICK ZE SPECJALNĄ, WIERZCHNIĄ IZOLACJĄ OŚCIEŻNICY

światła w pomieszczeniu oraz przyjemne, łagodne przejście od jasności do ciemności.

Konstrukcja ściany, przedstawiona na rys. 12.35, odpowiada niemieckiej aprobacie technicznej dla budowania z kostek słomy. Na rys. 12.35 zewnętrzną warstwę z płyt włókna drzewnego można zastąpić cienkim tynkiem glinianym.

Rys. 12.38 demonstruje rozwiązanie, gdzie ościeże nie jest otynkowane, lecz wykonane z desek lub płyt drewnopochodnych.

Decydujące dla idealnego funkcjonowania połączenia okien ze ścianą jest poprawne połączenie z płaszczyzną powietrznie szczelną. Zapobiegnie to też występowaniu szkód budowlanych. Dla połączeń ościeżnic z tynkiem stosuje się specjalne taśmy, których jedną stronę

12.7 Połączenie ścian z dachem

przykleja się do ramy, a drugą tynkuje. Taśmy te pokryte są włókniną, co umożliwia dobre wiązanie z tynkiem.

Do połączeń ościeżnic z płytami drewnopochodnymi również stosuje się specjalne taśmy klejące. Tu istnieje możliwość bezpośredniego sklejenia już u producenta (por. rys. 12.35). W tym wypadku prefabrykowane ościeże jest łączone taśmą klejącą z płaszczyzną powietrznie szczelną budynku.

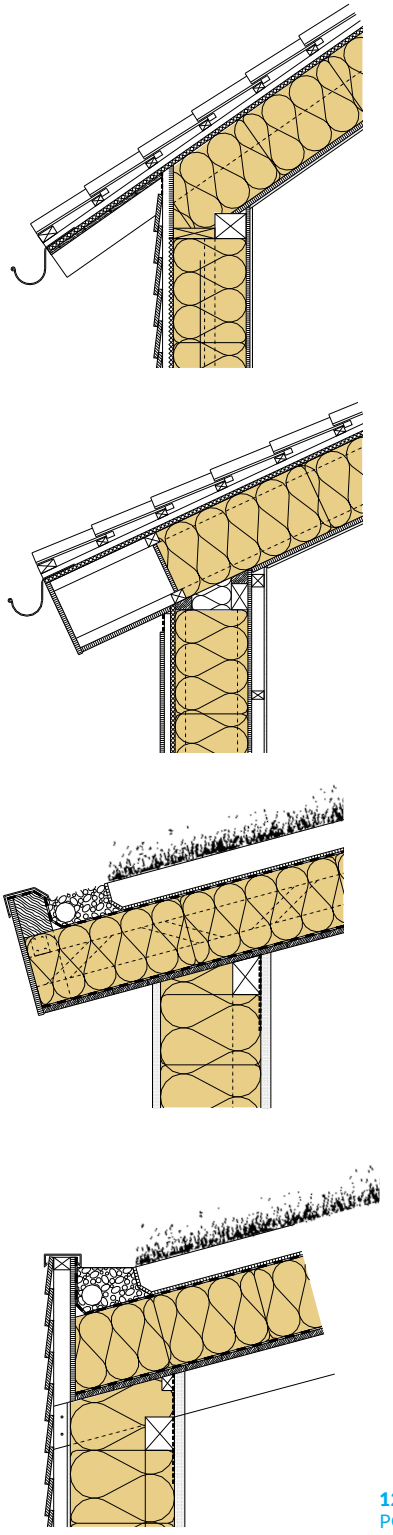
Przy górnym zakończeniu ściany należy również uważać, aby nie powstawały tam mostki termiczne.

W przypadku tynkowanych powierzchni zewnętrznych ścian okap dachu powinien być wystarczająco duży, aby ograniczyć

12.8 Ściany wewnętrzne

moczenie fasady przez zacinające deszcze. Nieotynkowane albo otynkowane tylko gliną ściany z kostek słomy najlepiej chroni przed zacinającym deszczem i śniegiem deskowanie wentylowane. Rysunki 12.39 do 12.42 ilustrują różne możliwości rozwiązania tego problemu.

Aby zapobiec obciążeniom skręcającym, które mogą prowadzić do skręcenia wieńca, należy w konstrukcjach nośnych z kostek słomy uważać, by obciążenie dachowe było przekazywane na środek wieńca.



12.39 - 12.42 ROZWIĄZANIA POŁĄCZEŃ DACHU ZE ŚCIANĄ

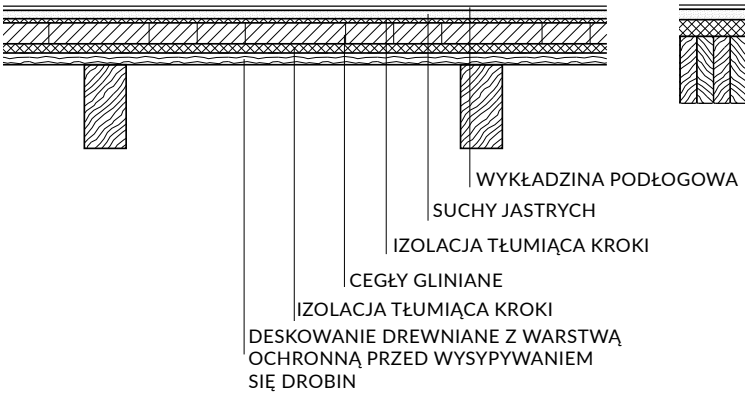
12.9 Stropy między kondygnacjami

Ściany wewnętrzne mają za zadanie oddzielenie optyczne i akustyczne pomieszczeń. Ponadto mogą one mieć zdolność magazynowania ciepła i wilgoci, tym samym pozytywnie wpływając na klimat wnętrza. Materiałem budowlanym, który optymalnie spełnia te wymagania, jest glina (por. rozdz. 4.2 i 4.3). Budowa ścian wewnętrznych z kostek słomy jest mało sensowna z uwagi na ich rozmiary i niewielką masę termiczną.

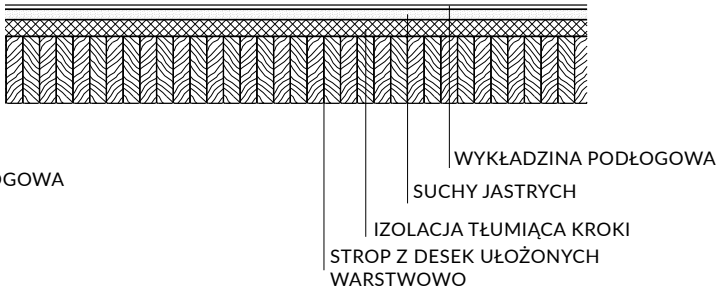
Stropy między kondygnacjami w budynkach wielokondygnacyjnych z kostek słomy wykonuje się z reguły jako drewniane belkowe albo jako drewniane monolityczne, z desek ułożonych warstwowo. Należy przy tym pamiętać o zapewnieniu wystarczającej izolacji tłumiącej odgłos kroków i izolacji od dźwięków powietrznych.

Na rys. 12.43 przedstawiono prostą budowę stropu, który w dużym stopniu nadaje się do wykonania we własnym zakresie. Warstwa z cegieł glinianych, ułożona w stropie, ma poprawić izolację od dźwięków powietrznych, i przyczynić się do akumulacji ciepła i regulacji wilgotności. W stropach z belek drewnianych trzeba zwrócić uwagą na zapewnienie płaszczyzny powietrznie szczelnej w rejonie oparcia belek na ścianie.

Innym korzystnym rozwiązaniem jest zastosowanie desek ułożonych warstwowo

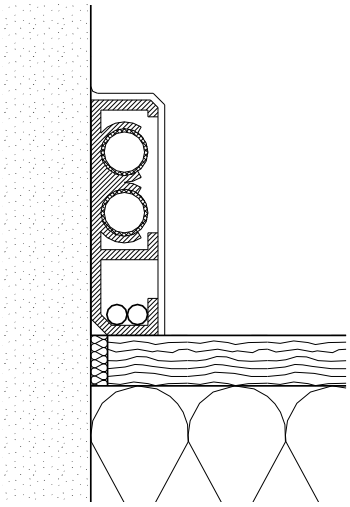


12.43 STROP NA BELKACH DREWNIANYCH



12.44 STROP Z DESEK UŁOŻONYCH WARSTWOWO

12.10 Prowadzenie instalacji



12.45 LISTWA PRZYPODŁOGOWA Z RURAMI INSTALACJI GRZEWCZEJ I KANAŁEM KABLOWYM

(rys. 12.44). Deski leżące na rąb, połączone gwoździami albo kołkami drewnianymi, tworzą tu pełny, drewniany strop. Ta konstrukcja, w porównaniu z konwencjonalną, ma następujące zalety: niewielka wysokość, dobra izolacja od dźwięków powietrznych, brak dodatkowych środków oraz łatwość (w porównaniu ze stropem na belkach) uzyskania płaszczyzny powietrznie szczelnej. Ponadto można taki strop w całości albo w dużych częściach prefabrykować i szybko zmontować na budowie (potrzebny jest wtedy dźwig).

Instalacji wodnych raczej nie należy prowadzić w ścianach ze słomy. Na rurach z zimną wodą może bowiem tworzyć się woda kondensacyjna, prowadząc do zawilgocenia słomy. Da się to wykluczyć jedynie pokryciem instalacji paroszczelną izolacją termiczną. Takie rozwiązanie stanowi jednak trudne zadanie dla wykonawców i jest bardzo kosztowne. Instalacja grzewcza oraz ciepłej wody nie stwarza niebezpieczeństwa skraplania się wody kondensacyjnej.

Instalację wodną najlepiej jest poprowadzić w specjalnej dla tego celu przygotowanej przestrzeni instalacyjnej, w szybie lub kanale albo za listwą przypodłogową (rys. 12.45). To zalecenie obowiązuje także w odniesieniu do kabli elektrycznych. Przechodzące przez kostki słomy kable

12.11 Mocowanie ciężkich przedmiotów

powinny być prowadzone w niepalnych kanałach albo peszlach. Włączniki i gniazda najprościej zamocować do słupów lub zintegrować w obudowy wnęk drzwiowych.

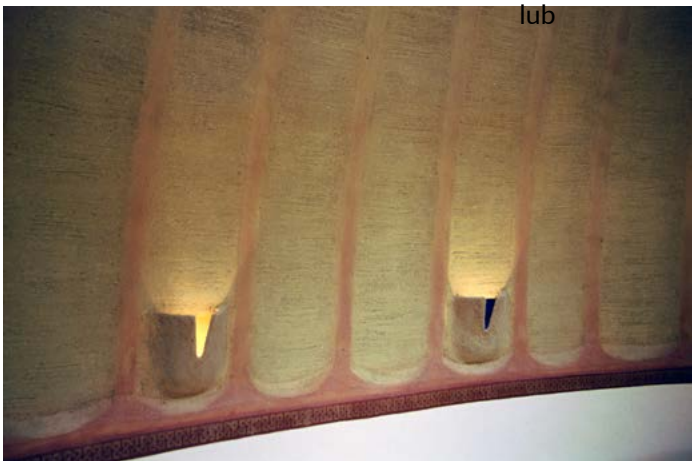
Jeśli musimy przymocować gniazdo albo wyłącznik w miejscu, gdzie nie ma profili drewnianych, należy wbić w kostki słomy klin drewniany i do niego przykręcić puszkę elektroinstalacyjną. Jeszcze prościej jest zamocować puszkę w kostkach słomy poprzez jej zagipsowanie. Aby zminimalizować ryzyko pożaru, amerykańskie przepisy nakazują otaczanie instalacji elektrycznych zaprawą o grubości co najmniej 3 cm.

Jeśli powierzchnię wewnętrzną ścian

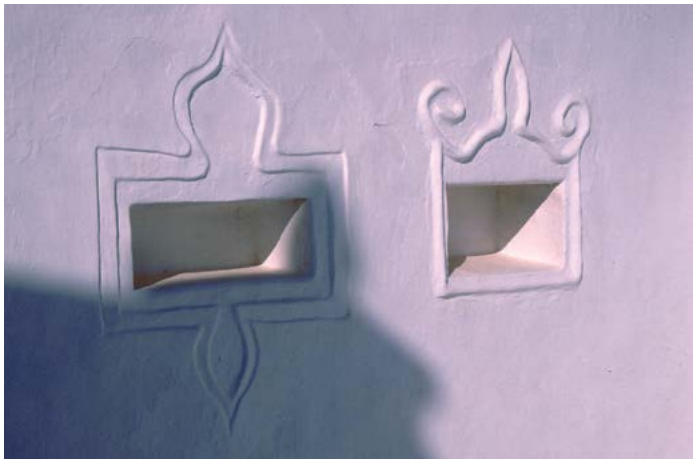
12.46 NISZA Z LAMPĄ

12.12 Wnęki i kinkiety

stanowi tynk i nie ma w wybranym miejscu słupów, na których można by powiesić regały, szafki wiszące, kinkiety itp., należy w tych miejscach wbudować odpowiednie drewniane elementy konstrukcyjne. Gdy ściana jest pokryta deskowaniem albo płytami drewnopochodnymi, to zabiegi tego rodzaju są zbędne. Aby móc zawieszać obrazy w miejscach niezależnych od konstrukcji, można w górnej partii ściany umieścić listwę drewnianą i na niej wieszać potem obrazy. Ciężkie regały i szafki wiszące można też podwieszać do wieńca lub



12.47 WBUDOWANE W ŚCIANĘ KINKIETY (PROJEKT: MANFRED FAHNERT)



12.48 WNĘKI W ŚCIANIE

12.49 OTWORY OŚWIETLENIOWE

12.50 „OKIENKO PRAWDY" POKAZUJĄCE SŁOMĘ

13.1 Wiadomości ogólne

13.1 WYGŁADZANIE PIERWSZEJ WARSTWY TYNKU DESKĄ

Jedną z możliwości zamknięcia powierzchni ściany z kostek słomy wewnątrz budynku jest jej otynkowanie. Tynk wzmacnia powierzchnię kostek, wygładza ją oraz, w połączeniu z siatką zbrojeniową i odpowiednio wykonanymi połączeniami, zapewnia konieczną szczelność powietrzną i odporność ogniową.

W miejscach, gdzie następuje łączenie materiałów, w narożnikach oraz na dużych powierzchniach, należy tynki zbroić tkaniną siatkową, aby zapobiec powstawaniu pęknięć.

Do tynkowania nadają się zaprawy gliniane, gipsowe, wapienne i cementowo-wapienne. Tynków cementowych, z uwagi na ich łamliwość i małą elastyczność, raczej nie należy stosować. Zasadniczo, jako tynki wewnętrzne zaleca się tynki gliniane, ponieważ bardziej niż inne przyczyniają się do wyrównania wilgotności w pomieszczeniach.

Jako tynki zewnętrzne stosuje się tynki gliniane, ale tylko na powierzchniach chronionych przed działaniem warunków atmosferycznych. Przy minimalnym zagrożeniu deszczem można ewentualnie użyć stabilizowanej zaprawy glinianej. Lepiej jednak na zewnątrz nakładać tynki wapienne.

Obowiązującą regułą tynkowania jest pokrycie ścian z kostek słomy najpierw od wewnętrznej strony; wtedy wilgoć stosunkowo bez przeszkód może przedostać się na zewnątrz. Jeżeli położymy najpierw tynk zewnętrzny, istnieje niebezpieczeństwo kondensacji wody na zewnętrznej stronie kostek, co może doprowadzić do powstawania grzybów pleśniowych. Tak dzieje się szczególnie w czasie, kiedy temperatura jest niska. Zasada ta nie dotyczy pierwszej, cienkiej warstwy, służącej jedynie jako ochrona przeciwpożarowa.

13.2 Tynki gliniane

13.2 NOŚNIKI TYNKU - MATY Z BAMBUSA I TRZCINY UMOŻLIWIAJĄ TYNKOWANIE KONSTRUKCJI DREWNIANEJ

Tynk gliniany, z uwagi na swoje właściwości regulowania wilgotności w pomieszczeniu oraz swoją elastyczność, ma znaczną przewagę nad innymi tynkami. Badania przeprowadzone w Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego (FEB) Uniwersytetu w Kassel pokazały, że tynk gliniany absorbuje dużo więcej wilgoci z pomieszczenia niż inne tynki. Kiedy powietrze jest suche, tynk oddaje zmagazynowaną wilgoć i w ten sposób przyczynia się do powstania zrównoważonego, zdrowego mikroklimatu wewnątrz. Więcej na temat sorpcji i regulacji wilgotności patrz. rozdz. 4.4.

Tynki nakłada się na kostki słomy najczęściej w trzech warstwach. Pierwsza z nich służy przede wszystkim do sklejenia wystającej słomy. Zaprawę powinno się nanosić w konsystencji płynnej, pod dużym ciśnieniem, aby spowodować jej głębokie wnikanie w słomę. Najprościej zrobić to przy pomocy pompy. Po spryskaniu trzeba wcisnąć wystające źdźbła w tynk przy pomocy deski albo szerokiej pacy (ryc. 13.1). Możliwe jest również wcieranie zaprawy ręką. Aby tynk mocno przyczepił się do słomy, należy przygotować zaprawę z gliny możliwie tłustej, czyli o dużej zawartości iłu. Powstające podczas schnięcia rysy nie są wadą, przeciwnie – będą one powodować lepszą przyczepność kolejnej warstwy.

Elementy drewniane należy przed tynkowaniem pokryć nośnikiem dla tynku np. matą z trzciny albo bambusa. Aby uniknąć późniejszego powstawania pęknięć, powodowanych „pracą" drewna, trzeba dodatkowo w tynku ułożyć nośnik z odpowiednio dużym zakładem.

Drugą warstwę wykonujemy z zaprawy

mocniej schudzonej piaskiem albo drobnym żwirem. Zapobiega to tworzeniu się rys podczas schnięcia. Do schudzania można też użyć trocin, sieczki, paździerzy konopnych oraz drobnych włókien sizalowych, kokosowych, lnianych, jak również mielonej słomy. Dodatki te służą jednocześnie jako zbrojenie tynku.

Druga warstwa tynku służy przede wszystkim do wyrównania większych nierówności na powierzchni ściany. Jeżeli jednak konieczne byłoby nałożenie warstwy
zaprawy grubszej niż 2 cm, to zaleca się przed położeniem drugiej warstwy wypełnić nierówności mieszanką sieczki z gliną.

Trzecia warstwa to drobnoziarnisty tynk (niem. *Feinputz*) o grubości 5-10 mm. Tworzy on wykończenie ściany. Ze względów estetycznych oraz w celu zapobieżenia pęknięciom podczas schnięcia, można dodać do zaprawy gruboziarnisty piasek, mieloną sieczkę, wókna i podobne cząsteczki. Zawartość iłu wynosi tu przeważnie 5-8%. To istotne, by druga warstwa była wystarczająco nawilżona i chropowata, a zaprawa trzeciej – mocno rzucana i zatarta. Spowoduje to dobrą przyczepność tynku.

Powierzchnię trzeciej warstwy można po przeschnięciu wygładzić zwilżoną pacą pokrytą filcem albo gąbką. Kiedy tynk wyschnie albo jest prawie suchy, można go ostrożnie przemyć wilgotną gąbką, aby gruboziarniste dodatki, takie jak żwir, słoma albo wióry, stały się widoczne.

Całkowita grubość tynku wynosi 3-6 cm.

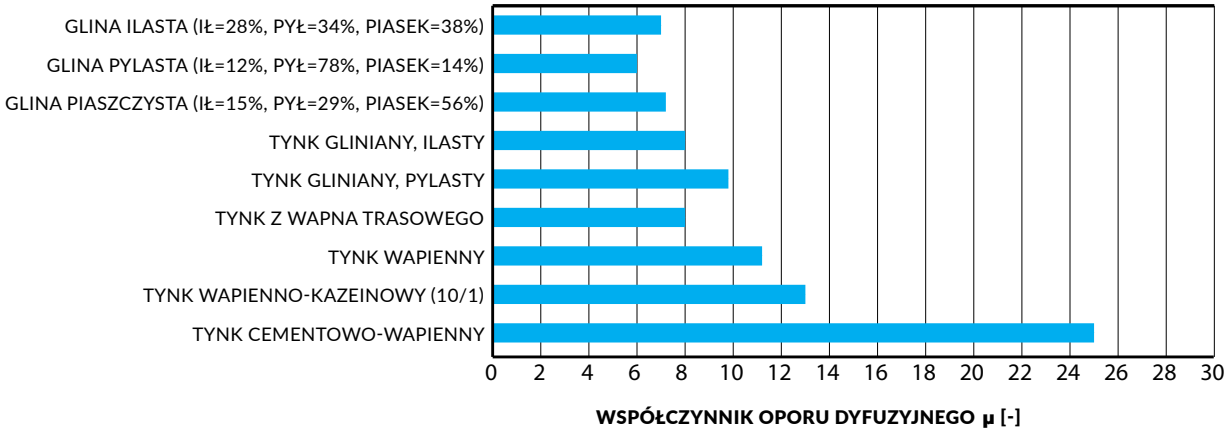
13.3 Inne tynki

Im grubszy jest tynk, tym większa zdolność akumulacji ciepła przez ścianę i tym bardziej wpływa on na wyrównywanie wilgotności powietrza w pomieszczeniu.

W celu uzyskania większej wytrzymałości powierzchni ściany, można jako ostatnią warstwę położyć tynk wapienny. W tym wypadku zaleca się zastosowanie wytrzymałej na rozciąganie tynkarskiej siatki zbrojeniowej. Tynki wapienne będą omówione w rozdziale 14.3.

Tynki cementowe w porównaniu z glinianymi są bardzo twarde i łamliwe. Łatwo pękają, jeśli tylko konstrukcja drewniana zaczyna „pracować" albo gdy ściana jest obciążona wiatrem, czy też kiedy kostki słomy zaczynają osiadać. Dlatego tynki te należy zbroić odporną na rozciąganie siatką z włókna szklanego albo metalu. Paroprzepuszczalność, a co za tym idzie także udział w regulacji wilgotności, są – w przypadku tynków cementowych – ograniczone w porównaniu do tynku

13.3 OPÓR DYFUZJI PARY WODNEJ RÓŻNYCH TYNKÓW [MINKE 2001]



TYNKI ZEWNĘTRZNE

14.1 Wiadomości ogólne

Moczone deszczem tynki zewnętrzne na ścianach z kostek słomy zaliczają się do elementów problematycznych. W słomie, pod tynkiem, poprzez oddziaływanie zacinającego deszczu oraz kapilarne podciąganie wody, wilgotność może osiągnąć stan krytyczny. Dlatego należy chronić przed deszczem zewnętrzne powierzchnie tynkowanych ścian. Najbardziej efektywne w tym wypadku jest deskowanie. Jeżeli jednak tynk ma być widoczny, należy go w inny sposób ochronić przed zacinającymi opadami. Można to zrobić przez duży okap albo posadzenie roślin przed fasadą. Stojący w pobliżu inny budynek również może pełnić rolę ochronną. W przypadku ściany budynku ze stron, które są osłonięte przed niekorzystnymi zjawiskami pogodowymi, może być dopuszczlane tynkowanie zaprawą glinianą, zwłaszcza stabilizowaną. Zwyczajowo zaleca się jednak stosowanie tynku wapiennego.

14.2 Tynki gliniane

Tynk gliniany może być tynkiem zewnętrznym tylko wtedy, gdy jest chroniony przed deszczem albo kiedy staje się odporny na działanie wody dzięki domieszkom lub powłokom malarskim. Przez dodanie pokostu lnianego, względnie przez pomalowanie powłoką zawierającą olej lub lateks, zmniejsza się znacznie paroprzepuszczalność tynku (rys. 15.1). Może to prowadzić do niebezpiecznego zbierania się wody kondensacyjnej w słomie, jeśli od strony wewnętrznej nie będzie warstwy paroizolacyjnej albo nie będzie zastosowana farba o właściwościach hamujących przenikanie pary.

Próba pokrycia tynku glinianego warstwą z zaprawy cementowej prowadzi niestety do szkód budowlanych. Tynk cementowy jest o wiele mniej elastyczny od glinianego, a działanie termiczne i mechaniczne powoduje powstawanie rys. Kiedy dostanie się do nich woda i przeniknie do gliny, ta pęczniejąc powoduje odpryski warstwy wierzchniej. Zjawisko to jest potęgowane przez mróz. Mniej problematyczna jest warstwa wierzchnia z tynku wapiennego, ale tu także należy zwrócić uwagę na takie wykonanie, które nie prowadzi do pęknięć.

14.3 Stabilizowane tynki gliniane

Stabilizowanymi tynkami glinianymi nazywamy takie tynki, które w swoim składzie, oprócz iłu, posiadają także inne materiały wiążące np. wapno, cement, gips, modyfikowaną skrobię, metylocelulozę, krowi nawóz, oleje, żywice, emulsje bitumiczne albo syntetyczne środki wiążące. Po stwardnieniu nie dają się już rozpuścić w wodzie. Stabilizowane tynki gliniane można stosować na zewnątrz tylko tam, gdzie zagrożenie deszczem jest niewielkie. Tynki z dodatkiem pokostu lnianego lub emulsji bitumicznej wykazują bardzo duże działanie hamujące przenikanie pary wodnej. Dlatego w zasadzie nie nadają się do budynków stojących w strefach klimatycznych o dużych różnicach temperatur w zależności od pory roku. Idealna ilość dodatków zależy od składu stosowanej gliny i powinna być każdorazowo testowana.

Dobre mieszanki, które zostały przez autora wypróbowane z wynikiem pozytywnym (w łagodnym klimacie Kolumbii) przedstawia tabela 14.2. Okazało się, że glina z pokostem lnianym i cementem oraz

wapnem były trudniejsze do wymieszania i do zastosowania niż inne zaprawy gliniane.

Dodanie 6% emulsji bitumicznej powodowało najlepszą odporność na deszcz, chociaż w wyniku długotrwałych opadów tynk wchłaniał trochę wody, co powodowało zmniejszenie wytrzymałości tynku na ściskanie. Klej pszeniczny wykonano według następującej receptury: 1 cz. mąki dokładnie wymieszano z 1 cz. zimnej wody i rozcieńczono 2 cz. gotującej się wody. Taka breja była tak długo gotowana na małym ogniu, aż stała się prawie szklista. Mieszanka kału krowiego z gliną musi w stanie wilgotno-mokrym pozostać kilka dni by wystarczająco sfermentowała. Dzięki temu wzrasta odporność tynku na ścieranie i na działanie deszczu, co jednoznacznie wykazały badania przeprowadzone w FEB.

Tabela 14.1 przedstawia wyniki testów na działanie ulewnego deszczu i testów ścierania, które przeprowadzono w FEB na stabilizowanych tynkach. Symulacja ukazała, że już po 3 sekundach ulewy niestabilizowany tynk gliniany ulegał erozji, podczas gdy tynki stabilizowane nawet po sześciu dniach w strugach deszczu nie wykazywały żadnego uszczerbku.

Znaczące są różnice w odporności na ścieranie mechaniczne. W prawej części tabeli 14.1 przedstawiono ubytki masy

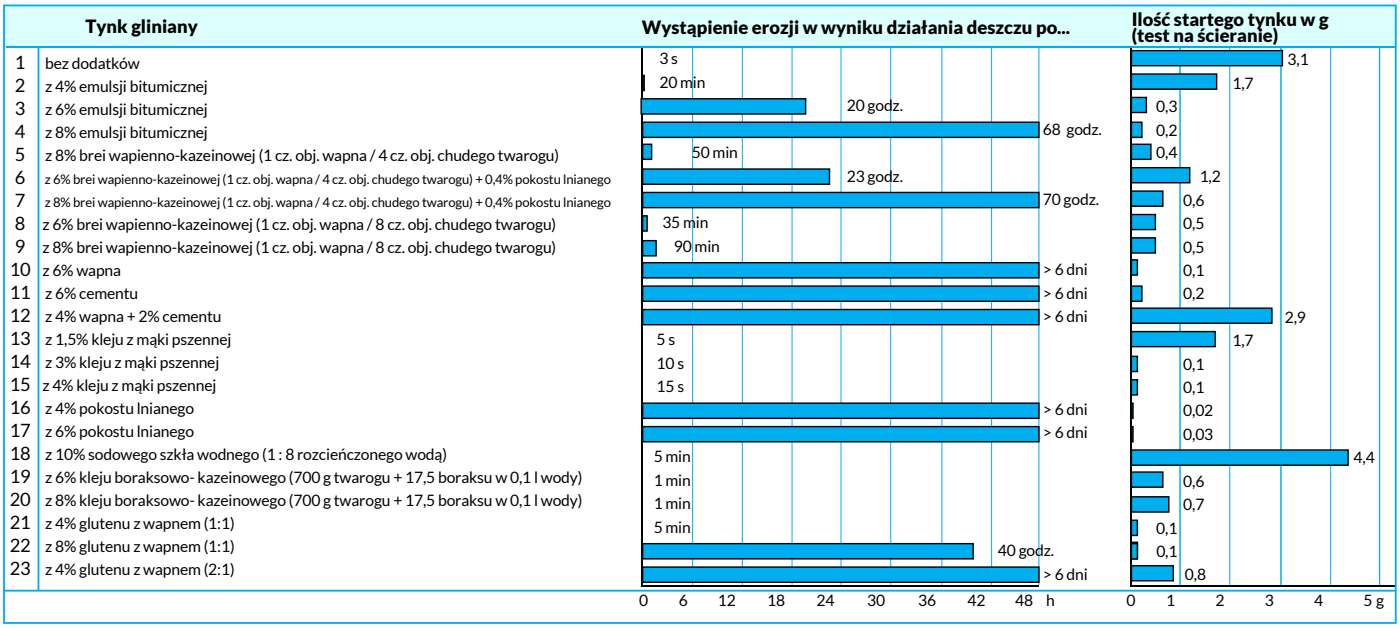


TABELA 14.1 ŚCIERANIE I EROZJA W WYNIKU DZIAŁANIA DESZCZU NA STABILIZOWANE TYNKI GLINIANE [MINKE 2009]

	1. warstwa	2. warstwa[1]	1. warstwa	2. warstwa[1]	1. warstwa	2. warstwa[1]	1. warstwa	2. warstwa[1]	1. warstwa	2. warstwa[1]	1. warstwa	2. warstwa[1]
Glina ilasta, sezonowana			2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Piasek gruboziarnisty (0-4 mm)	1,5	1	3	3	1	0,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,5
Piasek drobnoziarnisty (0-1 mm)	1	1	1	1	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1
Nawóz krowi, wilgotny, wymieszany 1:1 z breją glinianą, sfermentowany	1	1	1	1							0,5	1
Wapno									5%	5%		
Cement									5%	5%		
Emulsja bitumiczna							5%	6%				
Gotowany klej z mąki pszenicznej					3%	4%						
Breja kazeinowa wymieszana z wapnem 1:1											3%	3%
Pokost lniany			4%	4%								

[1] wcierana pacą z gąbką jako szlam

TABELA 14.2 SKŁAD STABILIZOWANYCH TYNKÓW GLINIANYCH ZEWNĘTRZNYCH (OBJĘTOŚCI – PROPORCJE) [MINKE 2009]

14.4 Tynki wapienne

(w gramach).

Zewnętrzny tynk wapienny, ewentualnie z niewielkim dodatkiem cementu, sprawdził się w budynkach z kostek słomy. Ważne jest, aby powierzchnia ścian była stosunkowo gładka, a szczeliny i wgłębienia były wcześniej zatkane np. wypełnione lekką gliną ze słomą. Trzeba mieć świadomość, że tynk wapienny w połączeniu z CO_2 z powietrza tworzy węglan wapnia $CaCO_3$. Proces ten postępuje bardzo wolno i tylko w warunkach wilgotnych. Wobec tego tynk nie może wyschnąć zaraz po nałożeniu, a kiedy intensywnie świeci słońce, należy go zacienić i nawilżać. W pierwszych tygodniach trzeba go chronić przed intensywnym deszczem i przed mrozem, ponieważ łatwo ulega wypłukaniu i zamarzaniu. Proces wiązania po ok. 3 miesiącach jest w dużym stopniu zakończony. Twardość tynku wapiennego rośnie jeszcze nieznacznie w ciągu pierwszych 3 lat.

Aby proces twardnienia przyspieszyć, można dodać do zaprawy ok. 5% cementu, który wiąże hydraulicznie (przez wchłanianie wody) w ciągu kilku godzin. Z tych samych powodów można użyć wapna trasowego, które w przeważającym stopniu wiąże hydraulicznie.

Jako pierwszą warstwę należy zrobić obrzutkę (niem. *Spritzputz*), czyli natrysk z rzadkiej zaprawy, wykonywany pod dużym ciśnieniem, aby skleiła się wystająca słoma. Na to należy położyć np. matę trzcinową albo siatkę ceramiczno-drucianą, jako warstwę nośną dla kolejnych dwóch warstw tynku. Można z tej warstwy nośnej zrezygnować, ale wtedy trzeba koniecznie w drugą warstwę tynku włożyć tynkarską siatkę zbrojeniową. Ostatnia warstwa tynku nie może być spękana. Mikropęknięcia mniejsze niż 0,2 mm można zamknąć powłoką malarską. Ważne jest też, aby tynk w rejonie cokołu był chroniony przed rozpryskiem wody. Można to osiągnąć przez dodanie do zaprawy środków hydrofobowych, malowanie albo też przez przykrycie płytami.

Tynk wapienny składa się z 1 części objętościowej wapna i 3-4 piasku. Jako wapna można użyć dostępnego w handlu, drobnomielonego wapna hydratyzowanego. Wielu rzemieślników poleca wapno dołowane, powstałe z nielasowanych brył wapna palonego, które przeleżało w dole kilka miesięcy, a nawet lat. Podczas dołowania, tj. składowania po gaszeniu w formie brei, większe części wapna osiadają na dnie zbiornika. Górna warstwa dołowanego wapna nadaje się szczególnie do produkcji sprężystej, rozciągliwej zaprawy, która po związaniu nadaje tynkowi dużą elastyczność. Także powszechnie dostępne w handlu, mielone wapno hydratyzowane dobrze jest moczyć przez kilka dni zanim zostanie użyte do zaprawy. Dolna warstwa w zbiorniku, gdzie osadziły się większe
elementy i zanieczyszczenia, nie powinna być stosowana do zapraw tynkarskich. Można użyć jej do zapraw murarskich.

Wapno reaguje mocno alkalicznie. Podczas pracy należy nosić rękawice ochronne i okulary.

W publikacjach zajmujących się remontami domów szachulcowych (niem. *Fachwerkhaus*) zaleca się często stosowanie tynku z wapna trasowego, zamiast czystego tynku wapiennego (np. [Bühring (b.d.)] i [Gerner, 1983]). Do wykonania warstwy spodniej zaprawę należy wykonać z 1 części wapna trasowego i 6 części piasku. Do warstwy wierzchniej trzeba użyć 1 część wapna trasowego i 2,5 części piasku.

Wapno trasowe jest wapnem wysoko hydraulicznym, powstałym z wodorotlenku wapniowego i pyłu trasowego (tuf trachitowy). Wapno to, obok typowego twardnienia przez wchłanianie CO_2, twardnieje także przy łączeniu się z wodą. Zaletą takiego wiążącego hydraulicznie tynku jest

TABELA 14.3 WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA OPORU DYFUZYJNEGO μ DLA TYNKÓW WAPIENNYCH (PROPORCJE OBJĘTOŚCIOWE) [MINKE 2001]

tynk nr	proszek wapna	wapno trasowe	piasek	chudy twaróg	pokost lniany	tłusta glina ilasta	nawóz krowi	uzyskane wartości μ
1	1	–	3	–	–	–	–	11,2
2	–	1	3	–	–	–	–	10,8
3	1	–	6	0,5	–	–	–	6,2
4	1	–	15	0,5	–	3	–	9,7
5	1	–	3	–	0,05	–	–	15,2
6	1	–	3	0,25	0,05	–	–	28,5
7	1,5	–	10	–	–	2	6	8,0

jego stosunkowo szybko osiągana wytrzymałość początkowa. Wadą jest jego kruchość. Nie może on, tak jak tynk wykonany z czystego wapna, przystosować się do osiadania konstrukcji, które trwa często przez wiele miesięcy. Dlatego do tynkowania ścian z kostek słomy zaleca się stosować czysty tynk wapienny, najlepiej z wapnem dołowanym.

Aby zmniejszyć wchłanianie wody przez tynk wapienny, można dodać do niego kazeinę (np. chudy twaróg). Do wykonania takiej zaprawy trzeba użyć np. mieszarki przeciwbieżnej, w której najpierw mieszamy wapno z twarogiem i niewielką ilością wody, a potem dodajemy piasek i żwir. Na koniec można dorzucić włosy lub szczecinę. Łatwiejsze w użyciu niż włosy zwierzęce są włókna kokosowe.

Niektórzy rzemieślnicy zalecają dodawanie, oprócz kazeiny, niewielkiej ilości pokostu lnianego. W tym jednak wypadku zmniejszy się paroprzepuszczalność tynku (por. tab. 14.3). W FEB przetestowano z powodzeniem zewnętrzny tynk kazeinowo-wapienny o znacznie większej zawartości kazeiny: chudy twaróg, wapno i piasek (0-2 mm) w proporcji objętościowej 1:10:40. Przy produkcji tej zaprawy należy w pierwszej kolejności przy pomocy mieszadła rozrobić wapno z twarogiem na jednolitą, kremową pastę. Stosując ten rodzaj tynku należy pamiętać o zredukowanej paroprzepuszczalności.

Do naprawy pęknięć, i jako cienki tynk nanoszony szerokim pędzlem, nadaje się także tłustsza mieszanka o następującym składzie objętościowym: 1 cz. chudego twarogu, 6 cz. wapna i 25 cz. piasku (0-1 mm).

W krajach o ciepłym klimacie dodaje się do tynku wapiennego trochę soli kuchennej. Powoduje to, że tynk pozostaje dłużej wilgotny. W ten sposób wapno wiąże szybciej i lepiej.

W Niemczech dodawano kiedyś wodę ze śledzi, która z uwagi na dużą zawartość soli powodowała podobną reakcję. Ponadto, zawarte w tym płynie proteiny posiadają lekko stabilizujące działanie.

W FEB testowano, w jak dużym stopniu dodatek pokostu i kazeiny wpływa na ograniczenie przenikania pary wodnej przez tynki wapienne. Uzyskane wartości μ pokazuje tabela 14.3.

14.1 POWIERZCHNIA GLINIANA ZARYSOWANA SKROBAKIEM

14.5 Tynki wapienne na podłożu z tynku glinianego

Jeżeli tynk wapienny kładziemy na podłożu z gliny, należy pamiętać, aby między tymi warstwami wystąpiło odpowiednio mocne wiązanie. Można to osiągnąć poprzez np. pomalowanie powierzchni glinianej zasadowym octanem glinowym albo mocno rozwodnionym mleczkiem wapiennym. Pierwszą warstwę tynku wapiennego o ziarnistości kruszywa do 6 mm należy mocno wetrzeć w glinę. Dobre mechaniczne połączenie między dwiema warstwami daje też wykonanie dziur grabiami w wilgotnej powierzchni glinianej albo zarysowanie jej skrobakiem (rys. 14.1).

14.2 BŁĘDNE ZAKOŃCZENIE TYNKU PRZY PARAPECIE

14.6 Zakończenie tynku

Przy oknach należy uważać, aby tynk zewnętrzny nie dotykał parapetu. Szparą, która tam z czasem niechybnie powstanie, woda może dostać się kapilarnie do spodniej warstwy i spowodować odpryski tynku, tworzenie się grzybów pleśniowych oraz powodować szkody przez zamarzanie (rys. 14.2). Tutaj blacha powinna być na końcach parapetu zagięta i wyprowadzona w górę. Przy parapecie drewnianym należy zastosować odpowiedni profil drewniany

14.3 SPOSÓB WYKONANIA ZAKOŃCZENIA TYNKU PRZY PARAPECIE DREWNIANYM

Powłoki malarskie, które mają za zadanie ochronę powierzchni przed wpływami atmosferycznymi, należy w regularnych odstępach czasu nanosić na nowo. Cienka powłoka jest niszczona mechanicznie przez wiatr i mróz, a chemicznie – przez promieniowanie ultrafioletowe lub przez działanie kwaśnych deszczy.

Powłoki malarskie zewnętrzne powinny być równocześnie hydrofobowe i pozostawiać otwarte pory, aby dyfuzja pary wodnej
następowała bez większych przeszkód. Jest to konieczne w celu odprowadzenia na zewnątrz wilgoci, która przenika do środka podczas gwałtownych deszczów lub zbiera się tam w wyniku kondensacji pary wodnej. Farby dyspersyjne, lateksowe lub emulsje syntetyczne nie nadają się więc jako zewnętrzne powłoki ochronne.

To, w jakim zakresie powłoki malarskie mogą hamować dyfuzję pary wodnej, pokazują doświadczenia w FEB, których wyniki przedstawia rys. 15.1. Wprowadzone tam współczynniki s_d podają w metrach grubości warstwy powietrza, która odpowiadałaby dyfuzyjnie warstwie badanego materiału. Większe wartości s_d oznaczają większy opór stawiany dyfuzji pary wodnej.

Wartość s_d (dyfuzyjnie równoważna grubość warstwy powietrza) dla jakiejś warstwy, podzielona przez jej grubość, określa wartość (bez jednostki) współczynnika dyfuzji pary wodnej :

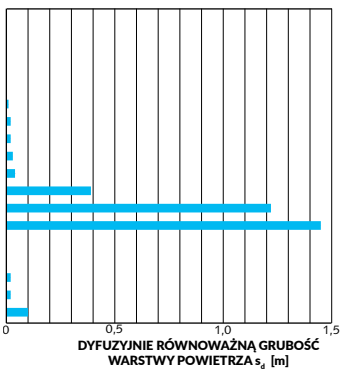
$$\mu = s_d / s$$

W tym rozdziale zostaną omówione tylko niektóre, sprawdzone powłoki malarskie. Więcej informacji na ten temat znajduje się w [Wehlte 1985].

15.1 WARTOŚCI s_d DLA RÓŻNYCH POWŁOK MALARSKICH NA TYNKACH GLINIANYCH [MINKE 2001]

POWŁOKI NA TYNKACH GLINIANYCH, ILASTYCH	
WAPNO, 2 WARSTWY	0,2
KREDA-KLEJ (FARBA KLEJOWA), 2 WARSTWY	0,2
WAPNO-KAZEINA (1:8), 2 WARSTWY	0,2
WAPNO-KAZEINA (1:1), 2 WARSTWY	0,2
CHUDY TWARÓG, 1 WARSTWA	0,2
SZKŁO WODNE SODOWE, 1 WARSTWA	0,2
WAPNO-KAZEINA-OLEJ LNIANY, 2 WARSTWY	0,2
FARBA DYSPERSYJNA SILIKATOWA, 2 WARSTWY	0,2
FARBA DYSPERSYJNA, 2 WARSTWY	0,2
BALSAM MALARSKI Z WOSKU PSZCZELEGO, 2 WARSTWY	0,5
FARBA LATEKSOWA, 2 WARSTWY	1,0
POKOST LNIANY, 1 WARSTWA	1,5
IMPREGNACJA TYNKÓW GLINIANYCH, ILASTYCH	
BS 15, WACKER, 2 WARSTWY	0,1
IMPREGNAT BAYSILONE, BAYER, 2 WARSTWY	0,1
IMPREGNAT DO FASAD, HERBOL, 2 WARSTWY	0,1
IMPREGNAT DO KAMIENI H, WACKER, 2 WARSTWY	0,2

*W NAWIASACH PODANO OBJĘTOŚCIOWE PROPORCJE MIESZANIA



Czysta powłoka wapienna

Przy malowaniu wapnem należy pamiętać, aby szlam wapienny był bardzo rzadki. Nie powstanie wtedy z niego kryjąca powłoka, która po wyschnięciu łatwo mogłaby odpryskiwać. Zaleca się więc 3- lub 4-krotne malowanie mleczkiem wapiennym, powstałym z wymieszania 1 worka (25 kg) wapna hydratyzowanego w 25-30 litrach wody. Można dodać też 1-2 kg soli kuchennej, by powłoka była długo wilgotna, co przyśpiesza proces karbonizacji. Przy odnawianiu budowli zabytkowych, dodaje się często do farby wody ze śledzi. Duża zawartość soli powoduje podobną reakcję (dodatkowo, dzięki zawartości składników białkowych, powstaje odporny na działania atmosferyczne związek albuminowo-wapienny, podobnie jak przy farbie kazeinowo-wapiennej). Mieszanka do wykonania pierwszej warstwy powłoki malarskiej powinna być jeszcze bardziej rozcieńczona, ponieważ mleczko wapienne musi dostać się możliwie głęboko. Wapno daje bardzo jasny, biały kolor. Aby go przyciemnić, można dodać proszku glinianego, delikatnej gliny lessowej lub innych pigmentów mineralnych. Malowanie wapnem powierzchni zewnętrznych wystarcza w klimacie Europy Środkowej na ok. 2-4 lat. Powłoki z czystego wapna nie są odporne na wycieranie.

Powłoka wapienno-kazeinowa

Znacznie trwalsza i bardziej odporna na wycieranie jest powłoka malarska powstała z mleczka wapiennego zmieszanego z serwatką, chudym twarogiem lub proszkiem kazeinowym. Chudy twaróg zawiera ok. 11% kazeiny. Wapno tworzy z nim chemiczny związek albuminowo-wapienny. Renowację zabytkowych budynków wykonuje się często używając farby z gaszonego, dołowanego wapna zmieszanego z chudym mlekiem lub serwatką.

Sprawdzoną mieszanką jest farba z 1 części chudego twarogu, 1-3 części wapna i 1,5-2,5 części wody. Niewielki dodatek pokostu lnianego (maksimum 10% w stosunku do twarogu) zwiększa odporność na wycieranie, ale utrudnia samo malowanie. Pokost należy

dobrze wymieszać z innymi składnikami, najlepiej mieszadłem mechanicznym, aż powstanie
delikatna, kremowa emulsja. Ponieważ pokost lniany szybko oddziela się od reszty mieszaki, należy farbę często mieszać. Dzięki temu dodatkowi, konsystencja mieszanki zmienia się i należy ją zużyć w ciągu 2-4 godzin. Białą barwę można stonować proszkiem glinianym lub innym mineralnym pigmentem. (Uwaga: pokost lniany redukuje dyfuzję pary wodnej). Przy wykonywaniu powłok kazeinowo-wapiennych należy pamiętać, aby podłoże było suche, ponieważ w przeciwnym wypadku mogą tworzyć się grzyby pleśniowe.

Dla pomieszczeń wilgotnych zaleca się następującą mieszankę kazeinowo-wapienną: 1 część wapna gaszonego, dołowanego wymieszać mechanicznie, przez maksymalnie 2 minuty, z 5 częściami chudego twarogu bez wody. Potem dodać 20 części wapna i 2-4% pokostu lnianego, dobrze wymieszać, a w końcu rozcieńczyć wodą. Dwukrotne malowanie daje odporną na wycieranie i działanie wody powłokę. Jedną część wapna można zastąpić pigmentami odpornymi na działanie soli wapniowych.

Powłoka boraksowo-kazeinowa

Zamiast wapna można do farby kazeinowej dodawać boraks, który podobnie jak wapno tworzy z kazeiną odporny na wodę związek. Jeśli boraksu jest za wiele, zachodzi jego krystalizacja, co widać gołym okiem.

Zastosowanie boraksu jest korzystne, kiedy chcemy stosować kolorowe pigmenty, ponieważ w przeciwieństwie do wapna nie rozjaśnia kolorów. W celu zagęszczenia i rozjaśnienia farby można dodać kredę. Niewielki dodatek proszku glinianego ułatwia malowanie i zmniejsza osadzenie się kredy.

Jeśli chcemy zamiast twarogu użyć proszku kazeinowego, należy go zamoczyć na 3 godziny w wodzie (320g kazeiny na 1 litr wody). Potem 65g boraksu należy rozmieszać w 1 litrze gorącej wody, dodać to do kazeinowej brei i w końcu taką mieszankę rozcieńczyć w 12 litrach wody.

Powłoka kazeinowa (bezbarwna)

W celu zachowania naturalnej barwy gliny i otrzymania powierzchni odpornej na wycieranie, należy wykonać mieszankę z 1 części chudego twarogu, z 1,8-2 części wody, do której dodaje się 1/8-1/9 części proszku wapna. Powstanie w ten sposób bezbarwna (względnie lekko mleczna) powierzchnia z satynowym połyskiem. Efekt ten wywołany jest przez wytworzenie się drobnej struktury krystalicznej.

Inne stabilizowane powłoki wapienne

Jeżeli zamiast serwatki do wapna dodamy serwatki i gnojówki, to według źródeł historycznych, otrzymamy dobre wzmocnienie powierzchni glinianej. Według badań przeprowadzonych przez Weissa w 1963 roku, dodany do gliny kaolinitowej mocznik lub octan amonowy znacznie zwiększa jej wytrzymałość. Ta wiedza została zastosowana w Chinach już przed tysiącami lat, przy produkcji ekstremalnie cienkiej porcelany, kiedy to do gliny dodawano urynę.

Sprawdzonym dodatkiem jest także klej zwierzęcy w proporcji 70g na 1 litr gotującej się wody i 1 kg wapna [Jain et al., 1978].

Następujące dodatki pochodzenia roślinnego również zwiększają odporność powłok wapiennych na ścieranie i działanie warunków atmosferycznych:

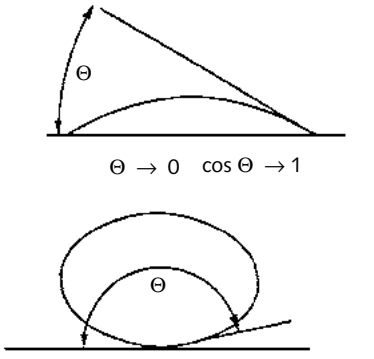
- klajster z 1 cz. mąki żytniej zagotowanej w 15 litrach wody i dodanym w niewielkiej ilości siarczanem cynku;
- sok z agawy;
- sok z gotowanych liści bananowych;
- sok z kaktusa figowego (opuncji);
- sok z wilczomlecza (*Euphorbia lactea*);
- sok z drzew kapokowych;
- olej lniany, pokost lniany.

Powłoki z farby klejowej i z kredy malarskiej

Powłoki malarskie klejowe (niem. *Leimfarben*) albo kredowe (niem. *Schlemmkreideanstriche*) nadają się jedynie do zastosowania wewnętrznego. Nie są one odporne na ścieranie. Przed użyciem farb klejowych niezbędne jest zagruntowanie podłoża.

Powłoki silikatowe i inne dostępne na rynku

Oczywiście można stosować inne dostępne na rynku farby jako powłoki malarskie. Należy jednak pamiętać, aby powłoka zewnętrzna w niewielkim stopniu hamowała przepływ pary wodnej. Z reguły spełniają ten warunek np. farby silikatowe. Kupujący



15.1 KROPLE WODY NA POWIERZCHNI NIEHYDROFOBIZOWANEJ (U GÓRY) I POWIERZCHNI HYDROFOBIZOWANEJ (NA DOLE) [MINKE 2001]

Jeżeli tynki wewnętrzne w łazienkach (lub tynki zewnętrzne) mają mieć właściwości hydrofobowe i jednocześnie zachować naturalną barwę gliny, to rozwiązaniem jest impregnacja powierzchni (hydrofobizacja). Hydrofobowość (skłonność do odpychania wody) występuje wtedy, gdy kąt zwilżania kroplami wody w stosunku do zaimpregnowanej powierzchni materiału jest większy od 90° (por. rys. 1.1). Środek impregnujący wnika do porów materiału nie zatykając ich. Chłonność kapilarna ulega dużej redukcji, podczas gdy paroprzepuszczalność zmniejsza się tylko nieznacznie. Środki impregnujące z reguły rozpuszczają się w alkoholach organicznych, w związkach wodorotlenowych albo w wodzie.

Rozróżniamy następujące środki do hydrofobizacji:

- silany (krzemowodory) albo siloksany;
- polisiloksany (żywice silikonowe);
- silikonaty;
- żywice akrylowe;
- estry kwasu krzemowego z hydrofobizującymi dodatkami;
- krzemiany z hydrofobizującymi dodatkami .

Krzemowodory, siloksany i żywice silikonowe reagują chemicznie z mineralnymi materiałami budowlanymi i są bardzo odporne na działanie warunków atmosferycznych. Redukują wchłanianie wody o ponad 90%, ale przepuszczalność pary wodnej tylko o 5-8%.

Estry kwasu krzemowego i żywice akrylowe wykazują podobnie dobre właściwości hydrofobizacji, redukują jednak przepuszczalność pary wodnej o 15-30%.

Ponieważ dostępne w handlu środki do hydrofobizacji mają różne składy, a poza tym – w zależności od składu gliny – wykazują różny stopień skuteczności, należy przed ich zastosowaniem wykonać testy na powierzchniach próbnych.

W testowanych przez FEB tynkach, pokrywanych dwukrotnie środkami impregnującymi, współczynniki kapilarnego wchłaniania wody (współczynnik *w*) wynosiły od 0,0 do 0,2 kg/m²h ^{0,5} , por. tab. 16.1. Współczynnik kapilarnego wchłaniania wody
w wyznacza ilość wody w kg, którą materiał budowlany wchłania na 1 m² w zależności od czasu.

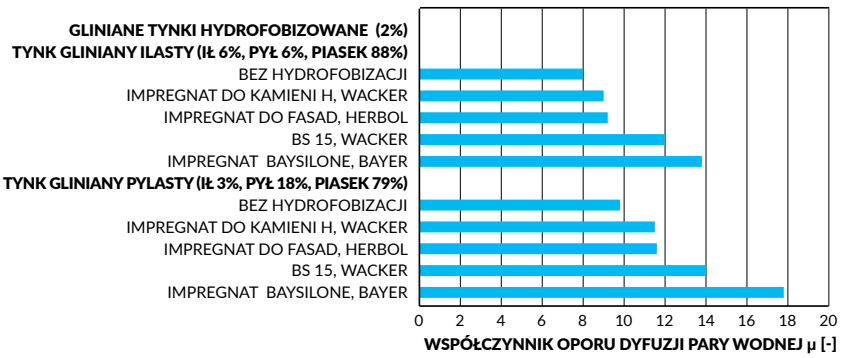
Środków do hydrofobizacji używa się co najmniej dwukrotnie w tzw. „metodzie zalewania": element gliniany pokrywa się przy pomocy wałka, który jest tak bardzo nasiąknięty, że spływający z niego płyn wyprzedza przesuwany w dół wałek. Należy pamiętać, aby powierzchnia przeznaczona do impregnacji była sucha, nie chłodniejsza niż ok. 8°C i nie cieplejsza niż ok. 25°C. Przy stosowaniu silanu i siloksanu powierzchnia powinna być wilgotna, lecz nie mokra. Zawsze jednak należy przestrzegać zaleceń producenta. Kiedy impregnacja po kilku latach straci swoje właściwości, można ten sam środek zastosować ponownie.

Bardzo cienkie, hydrofobowe warstwy są wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne. Nawet drobna rysa może doprowadzić do ich lokalnego uszkodzenia, umożliwiając wnikanie wody. Konsekwencją mogą być

TABELA 16.1 WSPÓŁCZYNNIKI „w" WCHŁANIANIA WODY PRZEZ TYNKI GLINIANE POKRYTE RÓŻNYMI POWŁOKAMI [MINKE 2001]

TABELA 16.2 WZROST OPORU DYFUZJI PARY WODNEJ W TYNKACH GLINIANYCH HYDROFOBIZOWANYCH [MINKE 2001]

POWŁOKA	ILOŚĆ g/m²	WARTOŚĆ w kg/m²·h^{0,5}	UWAGI
POKOST LNIANY	0	9,5	
WAPNO-KAZEINA 1:1	400	0,0	
WAPNO-KAZEINA 1:1	420/350	0,6/1,5	0-6h/6-24h
WAPNO-KAZEINA 1:8	´300/300	0,7	
FARBA SILIN (VAN BAERLE)	700/250/310	0,3	+ UTRWALACZ
HYDROPHOB (HERBOL)	390/390	0,0	
BAYSOLINE LD (BAYER)	400/290	0,2	
SYLRIT (METROARK)	350/320	0,0	
BS15 (WACKER)	450/430	0,1	
STEINFESTIGER H (WACKER)	290/290	0,0	

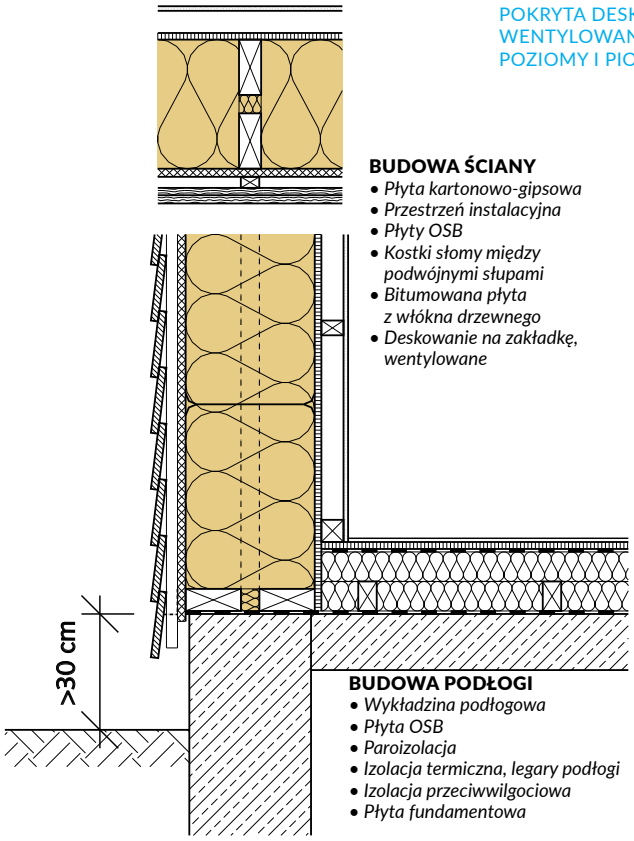


DESKOWANIA ELEWACJI

Prostym rozwiązaniem problemu ochrony kostek słomy przed działaniem warunków atmosferycznych jest deskowanie wentylowane (rys. 17.1). Jednak również w takiej konstrukcji należy powierzchnie słomiane pokryć obrzutką*, najlepiej glinianą. Zapewnia to ochronę przeciwpożarową, zapobiega dostawaniu się do ścian owadów i małych zwierząt oraz zwiększa szczelność wiatrową.

Do zastosowania nadają się: deskowania na zakładkę albo „deska na deskę" wykonywane z drewna lub też płyty elewacyjne z materiałów drewnopochodnych, klejone środkami odpornymi na wodę.

Wszystkie rodzaje deskowań wymagają zastosowania podkonstrukcji**. Korzystne jest, jeśli elementy konstrukcyjne w ścianie z kostek słomy mogą jednocześnie posłużyć do zamocowania deskowania. W ramach austriackiego projektu badawczego „S-House" [Wimmer/Drack/Hohensinner 2006] opracowano specjalną śrubę, przy pomocy



17.1 ŚCIANA Z KOSTEK SŁOMY POKRYTA DESKOWANIEM WENTYLOWANYM (PRZEKRÓJ POZIOMY I PIONOWY)

17.2 ŚRUBA DO SŁOMY Z BIOPOLIMERÓW [GrAT]

* Słowo obrzutka przyjęto jako tłumaczenie niem. *Spritzputz*. Jest to w tym przypadka warstwa tynku kładziona bezpośrednio na słomę, bardzo często natryskowo

** Podkonstrukcja oznacza tu ruszt z łat (lub specjalnych profili) do którego mocowana jest okładzina elewacyjna.

KOSZTY BUDOWY, WKŁAD PRACY WŁASNEJ, CZAS BUDOWY

Koszty budowy

Na pytanie, czy dom z kostek słomy jest tańszy od normalnego domu, nie ma uniwersalnej odpowiedzi. Z jakim budynkiem można porównać taki dom i jaka konstrukcja może tu być odniesieniem? Proponuje się przy porównaniu brać pod uwagę ściany o takim samym współczynniku przenikania ciepła. W takim zestawieniu ściana nośna z kostek słomy okazuje się najtańszym rozwiązaniem pod względem kosztu materiałów. W ścianach o nienośnym zastosowaniu kostek słomy istotny jest rodzaj i położenie drewnianej konstrukcji nośnej. Decydującym składnikiem kosztów jest przy tym czas potrzebny do otynkowania

kostek (por. tab. 18.1). Ponieważ każdą widoczną powierzchnię należy pokryć co najmniej trzema warstwami tynku, a jeszcze przedtem trzeba kostki słomy wyrównać („ostrzyc") oraz wypełnić styki i nierówności, to w sumie nakłady pracy i pieniędzy na tynkowanie okazują się wyższe niż w przypadku ścian murowanych.

Metodą oszczędzającą czas i koszty jest więc pokrycie ścian od wewnątrz płytami gipsowo-włóknowymi, gipsowo–kartonowymi lub też drewnopochodnymi. Wtedy jednak uzyskamy znacznie mniejszą masę termiczną wewnątrz pomieszczenia.

Decydującym czynnikiem dla porównania kosztów jest wkład pracy własnej inwestorów w proces wznoszenia domu. W budynku o konstrukcji szkieletowej, z wypełnieniem ze słomy, wewnętrznym tynkiem glinianym i wapiennym albo deskowaniem z zewnątrz, dużą część robót mogą wykonać amatorzy. Przy dużym udziale pracy własnej jest to oszczędnym rozwiązaniem.

Koszty nabycia kostek słomy są znacznie niższe od kupna konwencjonalnych materiałów izolacyjnych. Stanowią one jednak tylko niewielki procent kosztów całej inwestycji.

Przeprowadzone w Austrii porównanie kosztów materiałów izolacyjnych (wraz z dostarczeniem na budowę) o takich samych właściwościach termoizolacyjnych pokazuje następujące wyniki: 3,65€ to cena 1 m² ściany ze słomy o grubości 30 cm, dla izolacji z płatków celulozy cena była pięciokrotnie wyższa, zaś dla izolacji o grubości 24 cm z wełny mineralnej – 6,5-krotnie większa. Przy takiej samej cenie montażu (22€/m²), oszczędność kosztów całkowitych dla budynku o powierzchni 150 m² wynosiła: w stosunku do izolacji z celulozy – 2,6%, a z wełny mineralnej – 3,6% [GrAT 2001]. Założenie takich samych kosztów montażu nie jest jednak realistyczne.

Tabela 18.1 pokazuje koszty wykonania ściany o konstrukcji z ram drewnianych, wypełnionych kostkami słomy, na przykładzie budynku jednorodzinnego w Hamburgu. Dom zaprojektowany przez Dirka Scharmera, który jest też autorem zestawienia, zrealizowano w roku 2012. Spośród kosztów całości 28% pochłonęła konstrukcja drewniana, 16% słoma, a 48% tynkowanie trójwarstwowe wewnętrzne i zewnętrzne.

TABELA 18.1 KOSZTY ŚCIANY Z KOSTEK SŁOMY (KONSTRUKCJA Z RAM DREWNIANYCH WYPEŁNIONA SŁOMĄ) NA PRZYKŁADZIE DOMU JEDNORODZINNEGO W HAMBURGU. CENY Z ROKU 2012.

ILOŚĆ	RODZAJE WYKONYWANYCH ROBÓT	CENA JEDNOSTKOWA	RAZEM	€/ M²	%
0,84 m³	DOSTARCZENIE DREWNA	450,00 €/m³	377,91 €	23,75 €/m²	9%
3,12 m	MONTAŻ PODWALIN	11,00 €/m	34,32 €	2,16 €/m²	1%
15,91 m²	MONTAŻ I POSTAWIENIE RAM	29,00 €/m²	461,45 €	29,00 €/m²	11%
7,00 m	DOSTAWA I MONTAŻ ZASTRZAŁÓW	47,00 €/m	329,00 €	20,68 €/m²	8%
	DOSTAWA I MONTAŻ KONSTRUKCJI DREWNIANEJ			75,58 €/m²	28%
5,73 m³	DOSTARCZENIE KOSTEK SŁOMY	48,00 €/m³	274,96 €	17,28 €/m²	6%
15,91 m²	MONTAŻ KOSTEK SŁOMY	26,00 €/m²	413,71 €	26,00 €/m²	10%
	DOSTAWA I MONTAŻ KOSTEK			43,28 €/m²	16%
77,76 m	MATY/SIATKI PODTYNKOWE DLA TYNKU NA DREWNIE WEWNĄTRZ I NA ZEWNĄTRZ	3,00 €/m	233,28 €	14,66 €/m²	5%
15,91 m²	1. WARSTWA TYNKU GLINIANEGO WEWNĄTRZ	15,00 €/m²	238,68 €	15,00 €/m²	6%
15,91 m²	2. I 3. WARSTWA TYNKU GLINIANEGO WEWNĄTRZ	30,00 €/m²	477,36 €	30,00 €/m²	11%
15,91 m²	ZBROJENIE TYNKU WEWNĘTRZNEGO	5,00 €/m²	79,56 €	5,00 €/m²	2%
	TYNK WEWNĘTRZNY			64,66 €/m²	24%
15,91 m²	1. WARSTWA TYNKU GLINIANEGO NA ZEWNĄTRZ	20,00 €/m²	318,24 €	20,00 €/m²	7%
15,91 m²	2. I 3. WARSTWA TYNKU GLINIANEGO NA ZEWNĄTRZ	39,00 €/m²	620,57 €	39,00 €/m²	15%
15,91 m²	ZBROJENIE TYNKU ZEWNĘTRZNEGO	5,00 €/m²	79,56 €	5,00 €/m²	2%
	TYNK ZEWNĘTRZNY			64,00 €/m²	24%
15,91 m²	POWŁOKA ZEW. DYFUZYJNIE OTWARTA, HYDROFOBOWA	12,00 €/m²	190,94 €	12,00 €/m²	4%
15,91 m²	POWŁOKA WEW. KREDOWO-KAZEINOWA	8,00 €/m²	127,30 €	8,00 €/m²	3%
	DOSTARCZENIE I WYKONANIE POWŁOK			20,00 €/m²	7%
	SUMA NETTO		4.256,84 €	267,52 €/m²	

Wkład pracy własnej

Układnie kostek słomy jako izolacji cieplnej konstrukcji ścian, dachu i podłogi to praca, którą z powodzeniem można wykonać we własnym zakresie. Do tego możliwe jest dodanie czynności przy obróbce powierzchni słomy, jak wypełnienie ubytków, wygładzanie i tynkowanie albo mocowanie deskowań na ścianach. Przygotowanie zaprawy glinianej oraz tynkowanie, bez odpowiednich urządzeń, jest bardzo pracochłonne. Należy więc rozważyć, czy tych robót nie powinni wykonać doświadczeni rzemieślnicy przy pomocy przeznaczonych do tego maszyn.

Deskowanie ścian i obrabianie powierzchni tynku albo nakładanie powłok malarskich kryjących i przezroczystych itd. są czynnościami, które lepiej nadają się

do wykonywania samemu, co potencjalnie wpływa na obniżenie kosztów.

Inwestorzy powinni w sposób systematyczny przemyśleć udział własny w budowie już we wczesnej fazie planowania. Najczęściej jednak przecenia się swoje umiejętności i rezerwy czasowe. Może to prowadzić potem do niedoborów terminowych lub finansowych, tudzież napięć w relacjach międzyludzkich. Dlatego też realistyczne i systematyczne oszacowanie własnych możliwości jest szczególnie ważne.

Czas budowy

Przytoczone w poniższym tekście liczby bazują na dokumentacji czasowej powstawania budynku mieszkalnego dla sierot w Kaliningradzie, gdzie wypełnienie konstrukcji słomą i tynkowanie przebiegało w szczególnie niekorzystnych warunkach i było wykonywane przez amatorów.

Interesujący jest fakt, że wznoszenie ścian z kostek słomy zabrało tylko 18% czasu, podczas gdy wyrównywanie i naprawianie powierzchni aż 22%. Spowodowane to było z pewnością tym, że tynk zewnętrzny kładziono bezpośrednio na słomie (bez mat czy siatek podtynkowych) i szczeliny pomiędzy kostkami musiano pieczołowicie wypełniać, a lico ściany wyrównywać starannie nożycami do żywopłotu. Gdyby położono maty podtynkowe, zredukowano by czas pracy przy zatykaniu szczelin i wygładzaniu powierzchni ścian. Niemniej jednak czas trwania robót tynkarskich był co najmniej dwukrotnie dłuższy od czasu wbudowywania kostek słomy.

Nie licząc czasu na kierowanie budową i wykonanie dokumentacji, nakład wynosił tu 6,6 godzin na 1 m² powierzchni ściany, co należy uznać za rezultat bardzo wysoki. Przy tym zauważyć trzeba, że czas potrzebny do wykonania zaprawy tynkarskiej i jej transport wyniósł 26%, a ręczne tynkowanie drugiej i trzeciej warstwy 20% całkowitego czasu budowy. Wartości te były tak duże, ponieważ nie było możliwości użycia mieszarki przeciwbieżnej, odpowiedniej do urabiania gliny, a samo tynkowanie wykonywali laicy, którzy w ogromnej większości robili to pierwszy raz w życiu. Ponadto,
zaprawa nie była zawsze optymalnie wymieszana, co w niektórych miejscach powodowało znaczne pęknięcia tynku wywołane skurczami gliny podczas wysychania. Rysy te musiały być potem naprawiane.

Gdyby użyto gotowej zaprawy i mieszarki przeciwbieżnej, czas tynkowania byłby potencjalnie zmniejszony o 1,5 do 2,5 h/m². Kiedy podsumuje się ilość godzin potrzebnych na wybudowanie ściany z kostek
słomy, łącznie z obustronnym otynkowaniem, okazuje się ona znacznie wyższa niż nakład czasu na wykonanie porównywalnej ściany wymurowanej z pustaków ceramicznych lub z betonu komórkowego. Budowanie z kostek słomy jest z reguły tańsze od konwencjonalnego tylko wtedy,

UBEZPIECZENIE BUDYNKU

Ponieważ budowanie ze słomy jest jeszcze raczej mało znanym sposobem wznoszenia budynków, agenci bardzo różnie wyceniają wysokość ubezpieczenia. Dlatego też należy zebrać oferty z różnych agencji ubezpieczeniowych. Doświadczenia autorów wskazują, że niektóre z nich całkowicie odmawiają ubezpieczenia, inne z kolei proponują stawki, które, można przypuszczać, pokazują brak zainteresowania zawarciem umowy. W najlepszym przypadku ubezpieczalnie stosują taryfę jak dla domów drewnianych. Do takiego właśnie traktowania obiektu powinien zmierzać wykupujący ubezpieczenie.

Problematyczne może być ubezpieczenie domu od szkód spowodowanych awarią
instalacji wodnej albo powodzią, ponieważ wysuszenie przemoczonej ściany z kostek słomy jest bardzo kosztowne i czasochłonne. Niemniej jednak firma ubezpieczeniowa powinna znać konstrukcję ścian, aby w przypadku zaistnienia szkód nie odmówiła wypłacenia odszkodowania.

DOPUSZCZENIE DO ZASTOSOWANIA, POZWOLENIE NA BUDOWĘ

W wielu krajach wolno oficjalnie budować nie tylko konstrukcje drewniane z izolacją z kostek słomy, ale również ściany nośne z kostek słomy. W niektórych stanach USA istnieją na ten temat dokładne przepisy. Są tam określone takie cechy jak np. maksymalna wilgotność kostek, minimalna grubość ścian, maksymalne obciążenie i sposób wykończenia ich powierzchni. Najbardziej szczegółowe przepisy zawarte są w *California Straw-Bale-Code*, (przedrukowane w: King 1996, str. 142 i nast.) i w *Arizona Straw-Bale-Code* (przedrukowane w: Magwood & Mack 2002, str. 219 i nast.). We Francji w roku 2012 został wydany przez *Réseau Français de la Construction en Paille* zbiór reguł pt. *Règles professionnelles de la construction en paille*.

W Danii, Francji, Wielkiej Brytanii, Holandii, Irlandii i Szwajcarii wydawane są pozwolenia na budowę domów ze ścianami nośnymi z kostek słomy.

W Ship Harbour w Nowej Szkocji, w Kanadzie, zbudowano z urzędowym pozwoleniem dwukondygnacyjny budynek ze ścianami nośnymi z kostek słomy [Magwood & Mack, 2002, str. 199 i nast.]. W Disentis, w Szwajcarii, także uzyskano pozwolenie na budowę i zbudowano dwukondygnacyjny dom ze ścianami nośnymi z kostek słomy, a w Południowym Tyrolu nawet trzykondygnacyjny (patrz. rozdz. 22.15). W Niemczech zrealizowano dotychczas cztery budynki o słomianych ścianach nośnych, wszystkie uzyskały pozwolenie dla pojedynczego przypadku (niem. *Zustimmung im Einzelfall*).

W Niemczech można stosować tylko wyroby budowlane podlegające regulacjom zawartym w dokumentach nazywanych *Bauregellisten* (listy zasad budowlanych). Listy te publikuje Niemiecki Instytut Techniki Budowlanej w Berlinie (niem. *Deutsche Institut für Bautechnik*). Produkty, dla których istnieją regulacje, znajdują się na listach A i B. Wyrób nieuregulowany może być stosowany w budownictwie, jeżeli posiada aprobatę techniczną (AbZ) lub ogólne świadectwo sprawdzenia przez nadzór budowlany* albo też dopuszczenie dla pojedynczego przypadku.

Od konieczności przestrzegania tych zasad zwolnione są wyroby budowlane, które są co najmniej normalnie zapalne i nie są im stawiane specjalne wymagania dotyczące ochrony przeciwpożarowej, ochrony przed hałasem i przenikania ciepła oraz nie służą zachowaniu stabilności budynku (por. *Bauregelliste C*).

Ponieważ ściany zewnętrzne z kostek słomy stanowią najczęściej ochronę budynku przed przenikaniem ciepła, to nie podlegają temu zwolnieniu. Zwolnienie ma jednak zastosowanie dla ścian wewnętrznych z kostek słomy, które nie mają funkcji statycznych.

Kostki słomy nie są wyrobem opisanym w *Bauregelliste*, dlatego wymagają spełnienia jednego z trzech ww. punktów. Jak tu już wspomniano, dla wyrobu budowlanego o nazwie „Budowalne Kostki Słomy" (niem. „*Baustrohbalen*") istnieje aprobata techniczna (AbZ), na podstawie której te właśnie kostki mogą być stosowane w określonym zakresie. Dokument ten udostępniony jest w internecie przez *Fachverband Strohballenbau Deutschland eV* na stronie internetowej *www.fasba.de*. Jeżeli kostki słomiane mają być stosowane według AbZ, muszą posiadać także świadectwo zgodności (znak Ü).

Produkty budowlane, „...których zastosowanie nie służy spełnieniu istotnych wymogów bezpieczeństwa budynku [...], mogą zamiast aprobaty technicznej (AbZ) posiadać ogólne świadectwo nadzoru budowlanego" (por. §19 MBO, oraz np. §18

* W oryginale *allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis* (AbP). Jest to świadectwo dla materiałów budowlanych, których nie ma na liście *Bauregellisten*. Dokument wydaje wyłącznie placówka kontroli wyznaczona przez *Deutsche Institut für Bautechnik* albo też przez najwyższy organ nadzoru budowlanego.

HBO). Dla kostek słomy istnieje takie świadectwo (AbP). W połączeniu z *Bauregelliste* C pkt. 1.3) można stosować kostki słomy „jako wypełnienie konstrukcji ścian zewnętrznych [...] z minimalnym rozstawem podpór ≤ 1,0 m, jeżeli nie pełnią one funkcji konstrukcyjnych w budynku lub jego części."

Przy stosowaniu produktu według świadectwa nadzoru budowlanego wymagane jest także świadectwo zgodności (niem. *Übereinstimmungsnachweis*), które daje na piśmie jego producent.

Gdy kostki słomy mają być zastosowane poza zakresem AbZ albo AbP, należy uzyskać dopuszczenie indywidualne, którego udziela wyższy urząd nadzoru budowlanego we właściwym landzie. Wiele z tych urzędów wydawało już takie dokumenty i z reguły są one skłonne do współpracy. W Nadrenii Palatynacie, w Bawarii i Hesji wydano już po jednym dopuszczeniu do budowania domów o ścianach nośnych z wielkowymiarowych kostek słomy, a w Meklemburgii Pomorzu Przednim na zbudowanie nośnej konstrukcji sklepień z małych kostek słomy (patrz rozdz. 22.36). W Dolnej Saksonii natomiast, zostało wydane dopuszczenie na pięciokondygnacyjny budynek, którego konstrukcja drewniana jest izolowana kostkami słomy (patrz rozdz. 22.14).

Koszty uzyskania pozwolenia na budowę dla pojedynczego przypadku wyliczane są na podstawie czasu niezbędnego dla urzędu do wykonania sprawdzenia i wydania decyzji. W Hesji w ostatnich latach koszty te malały, ponieważ tematyka była urzędnikom już znana. W każdym wypadku opłaca się dołączyć do podania dobrze sporządzoną dokumentację, aby zmniejszyć nakład pracy urzędu. Znane koszty udzielenia pozwolenia dla pojedynczego przypadku wahają się z zakresie 200-1000€.

Na Uniwersytecie Technicznym w Brunszwiku, jak to opisano w rozdz. 4.7, przeprowadzono badanie obustronnie wytynkowanej gliną ściany z kostek słomy i uzyskano na tę konstrukcję aprobatę techniczną dla klasy F30.

Dotychczasowa, dość ograniczająca, aprobata dla słomy jako izolacji konstrukcji ścian kończy się w 2014 roku. Znacznie rozszerzona aprobata techniczna jest opracowywana i będzie prawdopodobnie opublikowana na początku roku 2014. Wtedy nie będzie już konieczne uzyskiwanie pojedynczego dopuszczenia dla prawie wszystkich budynków izolowanych słomą. W szczególności będzie też możliwe bezpośrednie pokrywanie zewnętrznych powierzchni ścian z kostek słomy tynkiem glinianym albo wapiennym.

Ponadto, stowarzyszenie FASBA

PRZEBIEG BUDOWY

Ochrona przeciwpożarowa

W czasie budowy istnieje zwiększone zagrożenie powstania pożaru, szczególnie wtedy, gdy na placu budowy leży luźna słoma. Należy zatem posiadać na budowie urządzenia gaśnicze i przestrzegać zakazu palenia. Luźną słomę trzeba regularnie sprzątać.

W celu zmniejszenia ryzyka pożaru należy wykonane z kostek słomy ściany jak najprędzej pokrywać pierwszą warstwą tynku.

Sprawdzanie jakości kostek

Kostki słomy przed wbudowaniem muszą być sprawdzane pod względem ich przydatności. Oznacza to, że:

- Wilgotność nie może przekraczać 15% ich wagi.
- Kostki muszą być mocno sprasowane, tzn. ich ciężar właściwy powinien wynosić co najmniej 90 kg/m³ dla konstrukcji nienośnych, a dla nośnych – minimum 110 kg/m³. Sznurek, którym kostki są związane, powinien być napięty i nie może być zmurszały. Kostki nie powinny mieć stęchłego zapachu, sinych lub czarnych miejsc ani śladów pleśni czy zgnilizny oraz nie mogą zawierać zbyt dużej ilości trawy i chwastów.

21.1 PROSTY SPOSÓB PONOWNEGO ZAGĘSZCZENIA KOSTEK SŁOMY

21.2 URZĄDZENIE Z FEB DO DODATKOWEGO KOMPRESOWANIA KOSTEK SŁOMY

21.3 IGŁY DO WIĄZANIA DZIELONYCH KOSTEK

Zapewnienie właściwej gęstości

Na budowie najprościej wyznaczyć gęstość poprzez zważenie kostek wagą, np. wędkarską czy do ważenia paczek i podzielenie wyniku przez objętość kostki. Podczas mierzenia kostki należy zwrócić uwagę, że ma ona często zaokrąglone rogi i nierówną powierzchnię. Dlatego zaleca się najpierw, na ile to jest tylko możliwe, poobcinać wszelkie nierówności nożycami do żywopłotu.

Jeżeli kostka o wymiarach 36x48x80 cm ma mieć gęstość 100 kg/m^3, to powinna ważyć 13,82 kg, jeśli nie ma zaokrąglonych rogów albo wcięć pod sznurkiem.

Transport i magazynowanie

Podczas manipulowania kostkami słomy można łatwo się skaleczyć i/lub podrażnić skórę. Dlatego należy chronić ręce i nogi odpowiednim ubraniem oraz używać do pracy rękawic roboczych.

Miejsce składowania kostek powinno posiadać w pełni suche podłoże. Kostek nie należy kłaść bezpośrednio na ziemi, lecz na paletach, balach drewnianych, krawędziakach itp. Składowisko należy chronić przed deszczem. Kostki o wilgotności powyżej 15% nie nadają się do budowania. Aby zbyt mokre kostki wysuszyć, należy poukładać je w rzędach tak, aby wiatr mógł je swobodnie owiewać.

Jeśli kostki słomiane maja różną długość, należy je posortować na grupy, które mają te same wymiary i opisać w widocznych miejscach na tablicach lub deskach. Praktyka pokazuje, że wyszukiwanie kostek o potrzebnych wymiarach, i związane z tym wielokrotnym ich mierzenie, znacznie wydłuża czas pracy.

Niedostatecznie sprasowane kostki mogą podczas przenoszenia ulec zdeformowaniu. Dlatego zaleca się użycie do transportu odpowiednich haków. Ułatwia to także przenoszenie, w szczególności ciężkich kostek.

Dodatkowe zagęszczanie (kompresja)

Jeżeli kostki są zbyt mało sprasowane, tzn. ich ciężar właściwy jest mniejszy niż 90 kg/m^3, niezbędne jest dodatkowe zagęszczenie. Można to zrobić poprzez obciążenie ich i skrócenie wiązania (ryc. 21.1). Skrócić sznurek można przez skręcenie go

drewnianym kołkiem, który wciska się potem w słomę.

W Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego (FEB) uniwersytetu w Kassel zbudowano urządzenie, w którym można przy pomocy lewarka samochodowego ściskać kostki i tym samym je zagęszczać (rys. 21.2).

Dzielenie kostek

Jeżeli kostki słomy będą układane na zasadzie wiązania murarskiego, to pod koniec ściany albo przy drzwiach i oknach będą potrzebne tylko kawałki kostek. Aby móc kostki ciąć i na nowo wiązać sznurkiem, potrzebne są pokazane na rys. 21.3 specjalne igły. Taką igłę łatwo wykonać z kawałka stali zbrojeniowej grubości 6 mm. Jedną stronę wyginamy jako uchwyt, a drugą spłaszczamy młotkiem i ostrzymy tarczą szlifierską. W zaostrzonym, płaskim szpicu wiercimy otwór o średnicy ok. 4 mm i usuwamy zadziory.

Zdjęcie 21.4 demonstruje proces dzielenia kostki. Przez ucho przeciągamy sznurek o dwóch końcach jednakowej długości, a potem igłę przepychamy pionowo, obok poprzedniego wiązania. Nowy sznurek ucinamy przy szpicu igły, przeciągamy z obu stron dookoła kostki i wiążemy po drugiej stronie z drugim, wolnym końcem. Czynność powtarzamy przy kolejnym wiązaniu. Teraz można stare wiązanie przeciąć i podzielić kostkę na dwie części.

Jeszcze prościej przebiega podział, kiedy zastosujemy przedstawioną na zdjęciu 21.3 podwójną igłę. Odstęp między obiema igłami odpowiada rozstawowi sznurków w kostce.

Kształtowanie kostek

Aby wyciąć w kostce wpust dla słupa drewnianego można do tego celu użyć piły łańcuchowej. Jeszcze lepiej do tego celu nadaje się piła elektryczna, w której dwa brzeszczoty przesuwają się względem siebie*. Jeśli wpust sięga aż do sznurka, należy go przesunąć aby zapobiec przypadkowemu przecięciu. (zdj. 21.5).

* Piła taka bywa nazywana „lisim ogonem" (z niem. *Fuchsschwanz*) albo „aligatorem" (z języka angielskiego)

Kostki dają się stosunkowo łatwo zginać w łuk (zdj. 21.6). Jeśli zgięcie następuje w poprzek do płaszczyzny wiązania, to sznurek wewnętrzny obwiśnie i należy go naciągnąć. Można to zrobić przy pomocy cienkiego, stabilnego, drewnianego kołka albo gwoździa, którym należy okręcać sznurek tak, aby się na niego nawijał.

Kiedy kostkę trzeba zgiąć w płaszczyźnie wiązań, to sznurki wewnętrzne będą odstawać, co jest niekorzystne przy tynkowaniu. Dlatego należy je powiązać w jednym albo dwóch miejscach ze sznurkami zewnętrznymi.

Wyrównywanie płaszczyzn czołowych

Przez to, że krawędzie kostek są zaokrąglone, tworzą się podczas budowy ściany szpary, które trzeba uzupełniać. Aby zmniejszyć nakład pracy z tym związany, można trochę słomy, która wystaje w płaszczyźnie czołowej kostki między sznurkami, przeciągnąć ręcznie w stronę krawędzi. W ten sposób czoła kostek staną się płaskie, a krawędzie mniej zaokrąglone (zdj. 21.7).

Ochrona przeciwdeszczowa

Ochrona kostek słomy przed deszczem jest ważna nie tylko w czasie składowania, ale także podczas budowy. Ściany muszą być stale chronione przed opadami.

W konstrukcjach o nienośnym zastosowaniu słomy korzystnym rozwiązaniem jest wykonanie najpierw dachu, a wypełnianie ścian kostkami słomy już pod przekryciem. W przypadku nośnych ścian trzeba kostki przykrywać (np. plandekami) podczas deszczu i na noc.

Zawilgocone kostki słomy wysychają bardzo wolno, a całkowicie przemoczone należy wymienić na suche.

Montaż kostek i stabilizacja ściany

Przed rozpoczęciem montażu ściany z wentylowanym deskowaniem należy najpierw na spodzie umieścić siatkę przeciw owadom. W przypadku ścian nośnych z kostek słomy wskazane jest zaznaczenie miejsc na okna oraz drzwi i przygotowanie tymczasowych podpór narożników. Dzięki takiej konstrukcji z desek podpartych

21.4 PRZETYKANIE PODWÓJNEJ IGŁY

21.5 WYCINANIE WPUSTÓW W KOSTKACH

21.6 ZGINANIE KOSTEK

21.7 WYRÓWNYWANIE PŁASZCZYZN CZOŁOWYCH

21.8 WBIJANIE PRĘTÓW DREWNIANYCH W KOSTKI

21.9 RUCHOME POŁĄCZENIE

zastrzałem można łatwo kontrolować, czy ściany są wznoszone pionowo. Kostki słomy układa się z przewiązaniem albo sztapluje między słupami.

Nadziewanie kostek na pręty stalowe zakotwione w fundamencie albo podwalinie, jak to często opisuje literatura amerykańska, jest niepotrzebne, jeśli ściana będzie stabilizowana przez sprężenie wstępne i zamocowanie boczne albo kiedy kostki połączone są z konstrukcją słupową. Utwierdzone w fundamencie pręty mogą działać jako mostki termiczne i powodować skraplanie się wody kondensacyjnej, tym samym prowadząc do szkód budowlanych.

W celu stabilizacji ścian nośnych z kostek słomy albo warstwy kostek stojących przed drewnianą konstrukcją słupową, zaleca się wbijanie z góry w kostki zaostrzonych pionowo prętów bambusowych albo drewnianych. Pręty te powinny przechodzić przez dwie warstwy, a w trzecią wnikać co najmniej do połowy i mieć grubość minimum 2,5 cm (rys. 21.8).

Jeżeli ściana z kostek słomy jest przewidziana poza słupami, należy kostki w co drugiej lub trzeciej warstwie łączyć z konstrukcją. Zdj. 21.9 pokazuje odpowiednie połączenie, które może się przesuwać po słupie podczas późniejszej kompresji ściany, np. podczas ściskania ściany pasami, łącznik przesunie się w dół. W tym przypadku łącznik umocowano do poziomego elementu usztywniającego w formie drabiny.

Interesującym optycznie rozwiązaniem stabilizacji jest usztywnienie z prętów bambusowych albo drewnianych, które stoją pionowo po obydwu stronach ściany. Pręty będące naprzeciwko siebie łączy się podczas układania kostek (zdj. 21.10). Powoduje to jednak większy nakład pracy przy tynkowaniu poprzez układanie siatki tynkarskiej.

Sprężanie wstępne ściany (prekompresja)

Ściany nośne z kostek słomy wymagają sprężenia wstępnego jeszcze przed obciążeniem ich konstrukcją dachu. Również w systemach nienośnych sprężenie wstępne jest celowe z uwagi na lepszą stabilizację ścian.

W ścianach nośnych spina się wieniec

21.10 STABILIZACJA PRĘTAMI BAMBUSOWYMI

z fundamentem lub podwaliną. Można do tego użyć prętów gwintowanych przechodzących przez środek kostek i zakotwionych w fundamencie. Lepszym jednak rozwiązaniem jest zastosowanie zewnętrznych pasów spinających, które przebiegają ponad wieńcem i przymocowane są do fundamentu (zdj. 21.11, 21.12), przechodzą pod fundamentem lub przez niego. Stosowanie prętów gwintowanych w środku ściany utrudnia montaż kostek, nawet wtedy, gdy pręty składają się z kilku skręcanych ze sobą części, ponieważ kostki muszą być bardzo dokładnie „nawleczone". Ponadto takie połączenie z fundamentem zawsze tworzy mostek termiczny. Z kolei zewnętrzne pasy napinające przeszkadzają podczas tynkowania.

21.11 SPRĘŻANIE ŚCIANY PASAMI NAPINAJĄCYMI

W systemach, gdzie kostki słomy nie są elementami nośnymi, rozsądnym rozwiązaniem jest połączenie funkcji wieńca i płatwi stopowej, która jest elementem nośnym konstrukcji dachowej.

Odstępy między prętami gwintowanymi albo pasami napinającymi zależą od przewidywanego sprężenia, od wytrzymałości wieńca na zginanie i od stosowanej metody. Dlatego nie można określić ogólnie obowiązujących tu reguł. Należy jednak zwrócić uwagę, aby wieniec nie ulegał zbyt dużej deformacji.

21.12 SPRĘŻANIE ŚCIANY PASAMI

W konstrukcjach szkieletowych kostki

21.13 WSUWANIE OSTATNIEJ WARSTWY KOSTEK

21.14 PODNOŚNIK HYDRAULICZNY

21.15 PODNOŚNIKI PNEUMATYCZNE

układane są pomiędzy fundamentem a płatwią stopową (lub wieńcem), więc korzystne jest kompresowanie po wykonaniu przedostatniej warstwy w sposób umożliwiający wsunięcie ostatnich, górnych kostek (zdj. 21.13), a następnie wyjęcie pasów napinających. Do kompresji można użyć również pneumatycznych lub hydraulicznych podnośników samochodowych (zdj. 21.14 i 21.15), jednakże pod warunkiem, iż konstrukcja dachu jest na tyle stabilna, aby urządzenia mogły być o nią zaparte. Przedstawionym na zdj. 21.14 podnośnikiem pneumatycznym można osiągnąć nacisk do 3 t. Typowym dla niego zastosowaniem jest podnoszenie ciężarówek i autobusów.

W ścianach nośnych sensownym wariantem jest sprzężenie profilami drewnianymi, które mocuje się u góry do wieńca, a u dołu, kątownikami, do fundamentu. Aby mieć gwarancję, że pręty te będą stale poddane naprężeniom rozciągającym, należy przedtem sprężyć kostki pasami napinającymi. Profile drewniane mogą później służyć do zamocowania deskowania (na zewnątrz) i do przytwierdzenia siatki/maty podtynkowej (od środka).

Wielokrotne sprężanie kostek w ścianach nośnych

Przez relaksację (por. rozdz. 6.4) naprężenie wstępne ulega z czasem zmniejszeniu. Jeżeli stanie się ono mniejsze od naprężenia powodowanego przez obciążeniem dachem, ściana zacznie osiadać. Aby temu zapobiec, sprężenie musi być odpowiednio mocne (por. rozdz. 6.4), co z kolei jest na budowie bardzo trudne do osiągnięcia.

Metodą wiele obiecującą i często stosowaną w praktyce jest wielokrotne sprężanie.
Polega to na systematycznym zwiększaniu naprężenia. Na razie nie ma naukowych badań na temat tej metody.

Za wystarczające uważa się takie naprężenie wstępne, po którym kostki leżące na płasko będą skompresowane o 14%, a leżące na rąb o 10%.

Przykładowy plan sprężania wielokrotnego: ponowne sprężanie następuje po 1 godzinie od dokonania sprężenia wstępnego, potem 2 godziny po pierwszym sprężeniu, a dalej 4, 16, 32 godziny po kolejnym,

wreszcie – co 72 godziny. Przed i po każdym sprężeniu należy ścianę mierzyć z dokładnością do 1 mm, a wyniki protokołować.

Proces ten powinien trwać co najmniej 3 tygodnie. Potem można zakończyć sprężanie, jeżeli trzy ostatnie zapisy pomiarów wysokości ściany są identyczne [Minke/Krick 2008].

Likwidacja wybrzuszeń

Jeśli ściana z kostek słomy stoi swobodnie przed konstrukcją słupową albo jest to ściana nośna, to po zakończeniu montażu kostek mogą w niektórych miejscach powstać wybrzuszenia. Można je zlikwidować poprzez uderzanie wielkim, drewnianym młotem lub podobnym narzędziem (zdj. 21.16, 21.17).

21.16 LIKWIDOWANIE WYBRZUSZEŃ

Wypełnianie szczelin, nierówności

Jeżeli ściana z kostek słomy ma być otynkowana, to konieczne jest wypełnienie ewentualnych szczelin między kostkami. Najlepiej nadaje się do tego luźna słoma namoczona w zawiesinie glinianej (szlamie glinianym) o dużej zawartości iłu. Tego samego materiału można użyć do wypełnienia wgnieceń (por. zdj. 21.18).

21.17 LIKWIDACJA WYBRZUSZEŃ MŁOTEM DREWNIANYM

„Strzyżenie" powierzchni

Przed tynkowaniem zaleca się wyrównanie powierzchni ściany z kostek słomy przy pomocy nożyc do żywopłotu albo kosy mechanicznej. Polega to na obcięciu wystających łodyg (zdj. 21.19 i 21.20).

Nanoszenie tynku glinianego

Jeżeli powierzchnia kostek nie była wcześniej zanurzona w szlamie glinianym, to należy położyć na niej warstwę obrzutki z tłustego szlamu glinianego przy pomocy pompy pod wysokim ciśnieniem i z cienką dyszą. Zaprawa powinna wniknąć na głębokość co najmniej 1 cm. Jest możliwe zrezygnowanie z warstwy szlamu, jeżeli naniesiemy pompą (albo wetrzemy ręcznie) stosunkowo tłustą pierwszą warstwę tynku. Po wyschnięciu, na obrzutkę (niem. *Spritzputz*) nanosi się ręcznie albo mechanicznie spodnią warstwę tynku (niem. *Grundputz*).

Spodnia warstwa powinna zawierać mniej iłu, a więcej gruboziarnistego piasku lub drobnego żwiru o przekroju do 4 mm.

21.18 WYPEŁNIANIE SZCZELIN

21.19, 21.20 WYRÓWNYWANIE POWIERZCHNI KOSTEK PRZY POMOCY NOŻYC DO ŻYWOPŁOTU

Ponadto można dodać do zaprawy sieczkę słomianą o długości do 5 cm, tudzież inne włókna. Warstwa ta powinna mieć grubość 1,5-3 cm. Przy tynkowaniu ręcznym najlepiej zaczynać pracę od góry i wciskając zaprawę w słomę, wcierać ją ruchami kolistymi. Na końcu należy powierzchnię tynkowaną wygładzić i zarysować pionowo lub poziomo przy pomocy deski z gwoździami albo zębatej pacy. Jest to potrzebne dla uzyskania dobrej mechanicznej przyczepności między spodnią i wierzchnią warstwą tynku (niem. *Oberputz*).

Jeżeli spodnia warstwa tynku jest już sucha, przed zarysowaniem należy ją dobrze zmoczyć. Małe pęknięcia powstałe w czasie schnięcia są nieszkodliwe, zwiększają one nawet przyczepność następnej warstwy.

Warstwa wierzchnia tynku ma zazwyczaj grubość 0,5-1 cm i zawiera piasek o grubości 1-2 mm. Przed jej nałożeniem należy poprzednią warstwę nawilżyć. Po podeschnięciu (tynk powinien mieć mniej więcej twardość skóry), należy powierzchnię „zagęścić" poprzez wygładzenie pacą z naciskiem. Przy okazji zamkną się drobne rysy powstałe podczas schnięcia. Jeśli z upływem czasu powstaną następne małe pęknięcia, to można je zlikwidować zacierając kolistymi ruchami powierzchnię tynku przy pomocy wilgotnej pacy z gąbką. Pacę należy mocno dociskać.

Technika *French dip*

Technika ta, którą opracował Tom Rijven, polega na zanurzeniu na klika sekund w płynnym szlamie glinianym (zawiesinie glinianej) tych stron kostek, które będą tworzyły obie strony ściany. Szlam powinien wniknąć w słomę na głębokość 3-5 cm i pokryć wszystkie wystające źdźbła. Po tej „kąpieli" nadmiar gliny ścigamy pacą i kostki kładziemy do wyschnięcia np. na paletach. Zaletą tej techniki jest dobra przyczepność nakładanego później tynku. Zbędne staje się też wyrównywanie powierzchni ścian przez strzyżenie nożycami do żywopłotu. Wadą tego systemu jest konieczność posiadania na budowie zadaszonego magazynu, gdzie namoczone kostki będą schły. Ponadto elementy te są o wiele cięższe i wymagają dłuższego czasu schnięcia [Rijven,

22. PRZYKŁADY ZREALIZOWANYCH OBIEKTÓW

22.1 Nauka na błędach – budowla eksperymentalna Uniwersytetu Kassel

W ramach dwutygodniowych warsztatów studenci architektury uniwersytetu w Kassel wznieśli budynek o ścianach nośnych z kostek słomy. Zadaniem było stworzenie, przy minimalnym budżecie, wielofunkcyjnej przestrzeni o powierzchni 36 m², bez słupów wewnętrznych, wykorzystując nadającą się do budowy własnymi rękami, prostą konstrukcję oraz ekologiczne materiały.

Dach miał być dachem zielonym, pokrytym warstwą ziemi o grubości 15 cm, obsianym dziką trawą i ziołami, a obciążenia miały być przeniesione bezpośrednio na ściany ze słomianych kostek.

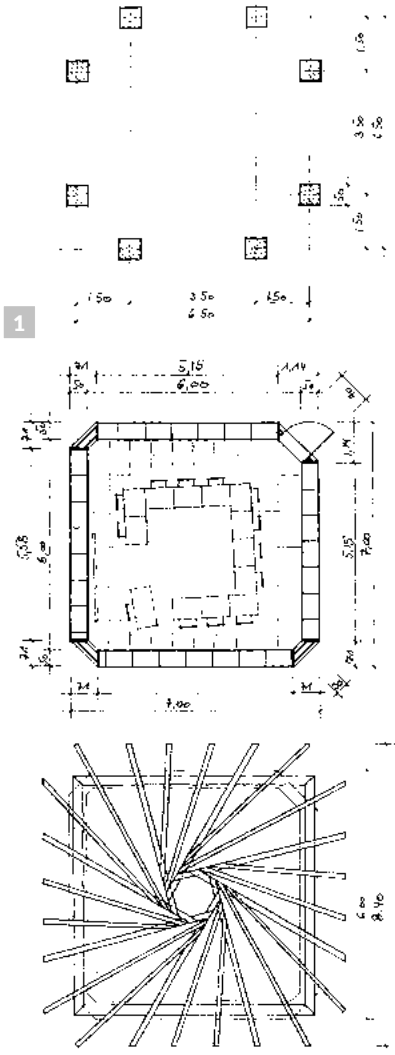
Na konstrukcję nośną dachu wybrano specjalny system z okrągłych bali ze świetlikiem na środku. Jako dodatkowe oświetlenie pomieszczenia przewidziano pionowe otwory okienne w rogach budynku. Jeden z otworów miał służyć jako drzwi.

W celu ograniczenia kosztów i nakładu pracy, zamiast wykonać ławy fundamentowe, zaprojektowano 8 fundamentów punktowych, na których miały leżeć belki służące jako podwaliny pod ściany (rys. 1). Górne zakończenia ścian miał tworzyć wieniec z przepołowionych okrągłych bali o średnicy od 24 do 28 cm. W celu powiększenia powierzchni oparcia wieńca i lepszego „zazębienia" z kostkami słomy, pod belkami przybito prostopadle do nich drewniane poprzeczki.

Na wykonanie podłogi znaleziono ekstremalnie proste i tanie rozwiązanie. Na pozbawionym darni gruncie wysypano warstwę tłucznia o grubości 10 cm, nieco zagęszczonego ręcznymi ubijakami. Powyżej dano warstwę piasku grubości ok. 3 cm, a na niej folię polietylenową jako izolację przeciwwilgociową. Kolejne warstwy to palety i poukładane na nich kostki słomy, stanowiące izolację termiczna i tworzące, razem z położonymi na nich płytami OSB, podłogę „pływającą". By utworzyć sztywną płaszczyznę, płyty zostały skręcone za pomocą dodatkowych pasów OSB o szerokości 25 cm.

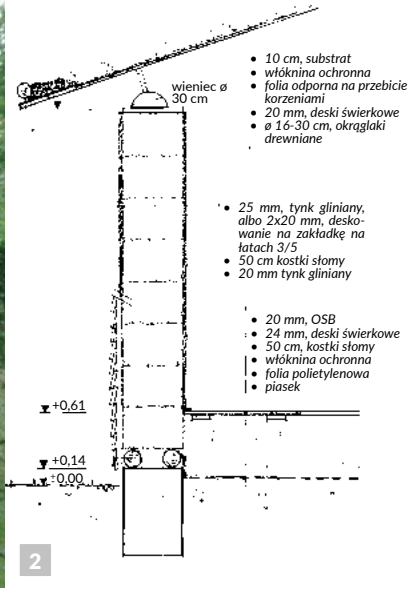
Realizacja – pierwsza próba

Budynek powstawał etapami. Najpierw położono obie okrągłe podwaliny na punktowych funamentach, a przestrzenie między nimi wypełniono kawałkami desek,



1

3



2

4

5

6

7

8

9

10

11

12

aby uniemożliwić dostanie się gryzoni i owadów do ścian. Następnie w czterech rogach umieszczono przygotowane ościeżnice drzwiowe i okienne, które przymocowano do fundamentów skośnymi łatami. Układanie kostek słomy było dla wszystkich wielką przyjemnością, ponieważ rezultaty tego etapu budowy były od razu widoczne: ściany zostały wzniesione w ciągu półtora dnia.

Ponieważ kostki słomy siłą wciskano między ramy otworów okiennych, tym samym je kompresując, nacisk na te ramy spowodował konieczność spięcia ich pasami (zdjęcie 11) i wzmocnienia poziomych desek parapetowych dokręconymi łatami. W celu stabilizacji ścian wbijano cienkie pręty drewniane tak, by przechodziły przez dwie warstwy kostek i połowę trzeciej (zdjęcie 7).

Dach wykonano z belek o okrągłych przekrojach, z których każda opierała się na sąsiedniej, tworząc konstrukcję niewymagającą podparcia słupami (zdjęcia 8 i 9). Do belek dachu przybito deskowanie i położono włókninę poliestrową o grubości 2 mm, stanowiącą mechaniczną warstwę ochronną leżącego na niej pokrycia dachu. Szczelne pokrycie dachu wykonano ze zgrzewanej tkaniny poliestrowej, pokrytej z kolei warstwą tworzywa sztucznego. Dla zabezpieczenia przed ześlizgiwaniem się substratu zamontowano progi ochronne (zdjęcie 10). Z uwagi na kompresję ścian pod ciężarem dachu przewidziano nad oknami i drzwiami obniżenie się dachu nawet o 25 cm. Sam ciężar konstrukcji dachowej spowodował kompresję ścian o 10 cm. Po nałożeniu substratu, dach osiadł w ciągu kilku godzin o kolejne 14 cm. Stało się jednak jeszcze coś, czego nie przewidziano. Ściany wybrzuszyły się w niektórych miejscach tak bardzo, że groziło to zawaleniem się budowli i dach trzeba było prowizorycznie podstemplować (zdjęcie 12).

Głównym powodem zaistniałej sytuacji było z pewnością użycie kostek słomy o zbyt niskiej gęstości, bo ok. 60-70 kg/m^3. Ponadto na nadmierne osiadanie miały wpływ jeszcze dwie przyczyny konstrukcyjne:

- otwór drzwiowy był szerszy od otwo-

rów okiennych, przez co kostki słomy umieszczone po bokach drzwi były obciążone bardziej niż pozostałe. Tam też dach opadł najniżej;
- sposób budowy samej ściany, relatywnie smukłej, bo wysokiej na 7 warstw kostek, dodatkowo zwiększył niebezpieczeństwo wybrzuszenia.

Rozwiązanie problemów – druga próba

Kiedy zauważono błędy, podparto dach słupkami rusztowaniowymi pod co drugą belką. Belki podnoszono jednocześnie o ok. 5 cm przy pomocy podnośnika samochodowego oraz odpowiednio wydłużono podporę. Proces ten powtarzano tak długo, aż podniesiono równomiernie cały dach o ok. 20 cm i można było łatwo wyjąć kostki
słomy.

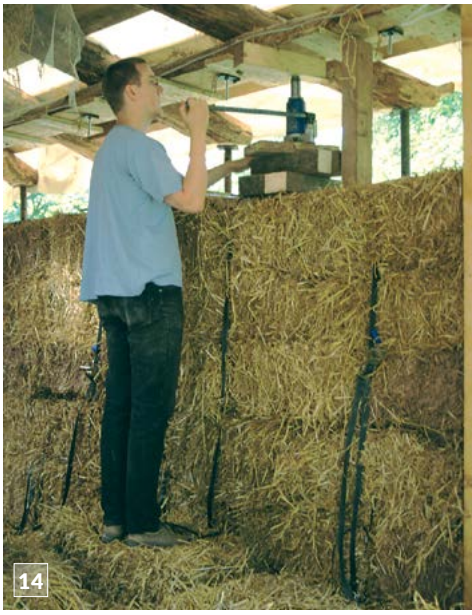
Przy pomocy własnoręcznie wykonanego urządzenia do dodatkowego kompresowania kostek, skompresowano je i na nowo związano sznurem. Dzięki temu zabiegowi kostki osiągnęły gęstość 80-90 kg/m³ (zdjęcie 15).

Potem te wtórnie skompresowane kostki znowu ułożono w ściany. Jednak w celu uzyskania większej stabilności konstrukcji i zapobieżenia wybrzuszeniom, położono na trzecią i na szóstą warstwę kostek drewniane rygle o grubości 4 cm i szerokości 30 cm. Rygle te sięgały od jednej obudowy okna do następnej. Miały też wycięcia na końcach, pasujące do profili wzmacniających obudowy okien. W ten sposób były one zabezpieczone przed przesunięciem się na boki i mogły ślizgać się pionowo (zdjęcie 11). W celu uzyskania wystarczającego połączenia między kostkami słomy i ryglami, wbito cienkie pręty bambusowe w odstępach ok. 40 cm. Pręty przechodziły przez rygle i leżące pod nimi kostki słomy (zdjęcie 11). Po ułożeniu siódmej warstwy spięto ściany pasami napinającymi, aby kostki jak najmocniej sprężyć. Okazało się, że pasy szerokie, których wytrzymałość na rozciąganie wynosi więcej niż 1000 kg, są lepsze niż pasy wąskie, o niższych parametrach. W niektórych miejscach z powodzeniem zastosowano inną metodę: między wieńcem a siódmą warstwą kostek włożono ciężki lewar, służący do podnoszenia ciężarówek i poprzez grubą deskę położoną na słomie, w celu równomiernego rozłożenia nacisku, ściśnięto ścianę (zdjęcie 14). Uzyskane sprężenie można było zabezpieczać również cienkimi pasami. Teraz można było z łatwością włożyć kostki ostatniej warstwy pod wieniec, odpiąć pasy i je wyjąć. Prowizoryczne podparcie słupkami poluzowano, aż dach wszędzie spoczął na ścianach. Osiadanie dachu zakończyło się po kilku tygodniach i ściany się nie wybrzuszyły. Wreszcie można było, po „ostrzyżeniu" kostek nożycami do żywopłotu, położyć na ścianach kilkuwarstwowy tynk. Pierwszą warstwę kładziono przy pomocy urządzenia do natrysku własnej roboty (zdjęcie 16). Aparat zbudowany był ze zbiornika ciśnieniowego, wypełnionego w 2/3 pojemności szlamem glinianym, a w 1/3 sprężonym powietrzem.

Szlamem natryskiwano ścianę przy pomocy węża ściskanego na końcu palcami. Ciśnienie w zbiorniku wyrównywał do ok. 5 barów podłączony do niego kompresor. Tynkowaną powierzchnię wygładzano dłońmi albo pacą i zacierano tak długo,
aż nie wystawały źdźbła słomy.

PROJEKT: STUDENCI UNIWERSYTETU KASSEL Z GERNOTEM MINKE I DITTMAREM HECKEN

13


14

15

16

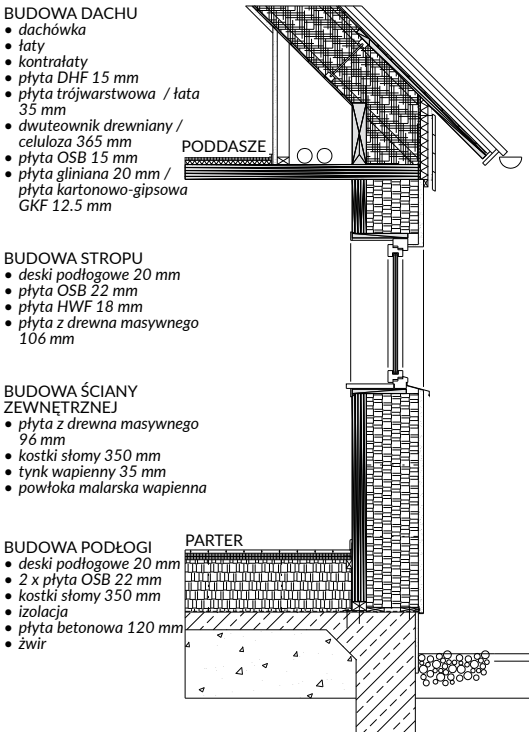
22.2 Dom jednorodzinny w Maasholm

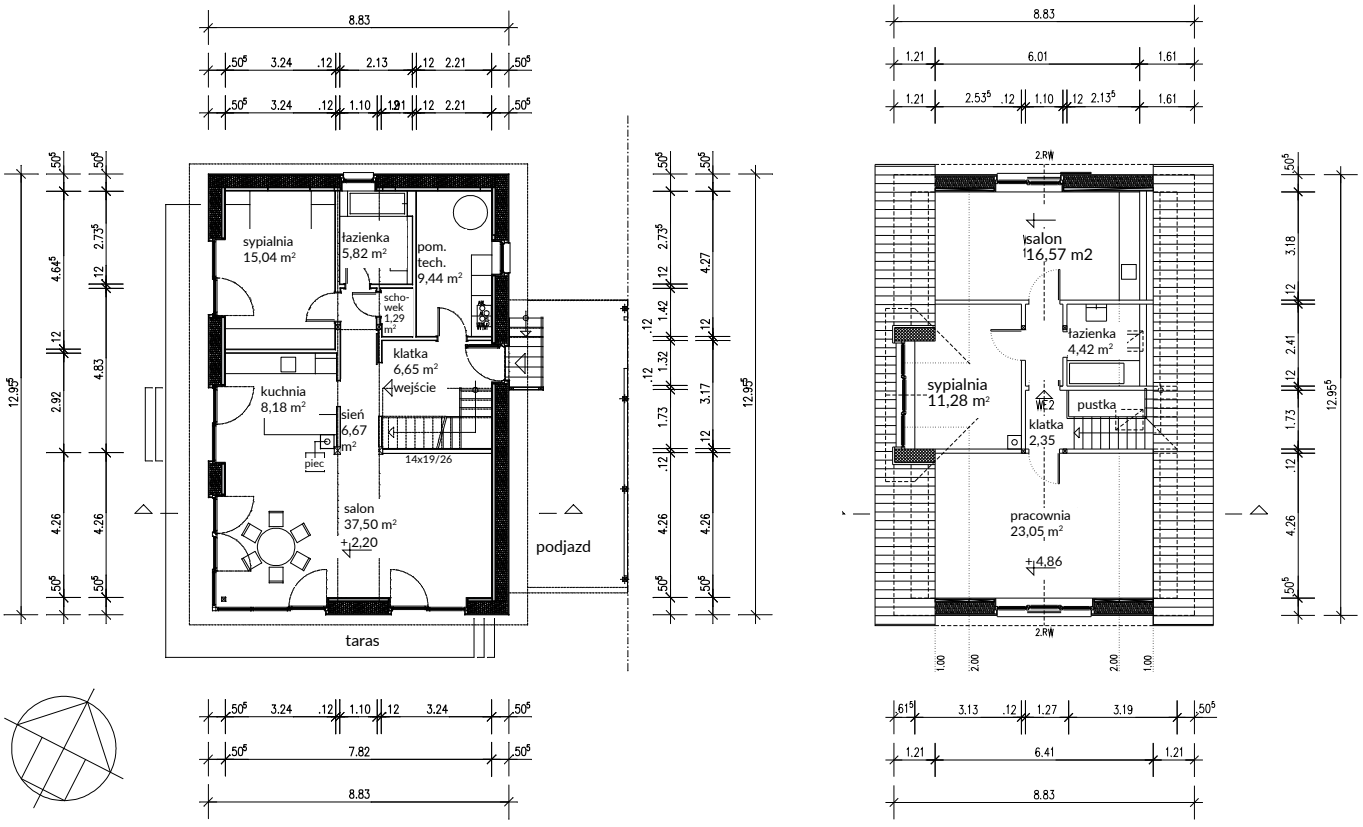
WYKONANIE: STUDENCI UNIWERSYTETU KASSEL Z GERNOTEM MINKE, DITTMAREM HECKEN I FRIEDEMANNEM MAHLKE
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: PIERWSZY TEST – 2000 r., KOREKTA – 2001 r.
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 36 m²

Budynek został zaprojektowany jako dom pasywny. Posadowiony został na płycie żelbetowej spoczywającej na ławach fundamentowych. Na tym leżą dwuteowniki wypełnione kostkami słomy, przykryte podwójnymi płytami OSB. Połączenia klejono dla uzyskania szczelności powietrznej.

Konstrukcję nośną ścian stanowią masywne płyty z drewna klejonego krzyżowo, o grubości 10 cm. Z zewnątrz poukładano na rąb kostki słomy, które zamocowano do płyt z drewna klejonego za pomocą sznurków przeciągniętych przez oczka wkrętów. Ochronę przed wpływami atmosferycznymi stanowi kilkuwarstwowy tynk wapienny. Szczyty budynku pokryto deskowaniem modrzewiowym. Konstrukcja dachu składa się z dwuteowników, poszycie od wewnątrz stanowią płyty OSB, a z zewnątrz płyty z włókien drzewnych DWD. Przestrzenie między krokwiami wypełniono wdmuchanymi płatkami celulozy.

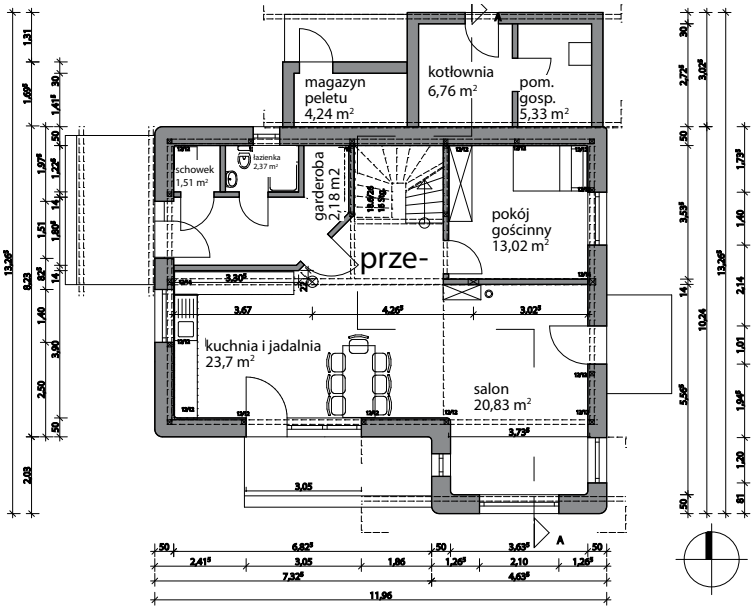
Do podgrzewania wody i do wspomagania instalacji grzewczej, zamontowano próżniowe kolektory słoneczne. Opalany drewnem kominek, który oddaje do zbiornika 75% energii, służy jako dodatkowe źródło ciepła.




8.83
sypialnia 15,04 m²
łazienka 5,82 m²
pom. tech. 9,44 m²
schowek 1,29 m²
klatka 6,65 m²
wejście
kuchnia 8,18 m²
sień 6,67 m²
piec
14x19/26
salon 37,50 m²
+2,20
podjazd
taras
8.83
7.82
salon 16,57 m2
łazienka 4,42 m²
sypialnia 11,28 m²
pustka
klatka 2,35
pracownia 23,05 m²
+4,86
8.83
6.41

22.3 Dom jednorodzinny w Bösel

PROJEKT: BODO AMBROSIUS, MAASHOLM
WYKONANIE PRAC Z KOSTKAMI SŁOMY: LAICY POD KIEROWNICTWEM STROH-UNLIMITED
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2006 r.
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 151 m²
KOSZT BUDOWY: ŁĄCZNIE Z WYDATKAMI DODATKOWYMI
185 000 €.



Budynek został zaprojektowany jako dom niskoenergetyczny.

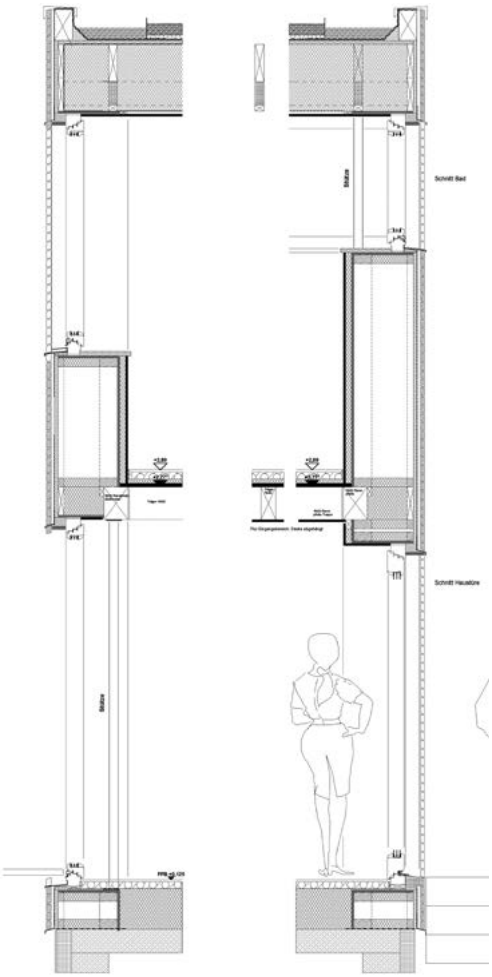
Ściany mają konstrukcję szkieletową, drewnianą. Słupy o przekroju 14×14 cm stoją w odstępach 200-350 cm.

Ściany zewnętrzne wykonano z dużych, przepołowionych kostek słomy o wymiarach 50×85×130 cm. Wewnętrzna powierzchnia kostek licuje z powierzchnią konstrukcji. Od wewnątrz ściany pokryto tynkiem
glinianym o grubości od 3 do 5 cm. Od zewnątrz zastosowano podkładową warstwę tynku glinianego, na której położono tynk wapienny.

Krokwie wykonano jako dźwigary skrzynkowe o wysokości dostosowanej do

kostek słomy. Pomiędzy nimi, na płytach OSB, leżą kostki słomy o grubości 36 cm, pokryte z góry tynkiem glinianym. Pod płytami OSB, na matach z trzciny, położono tynk gliniany o grubości 2 cm.

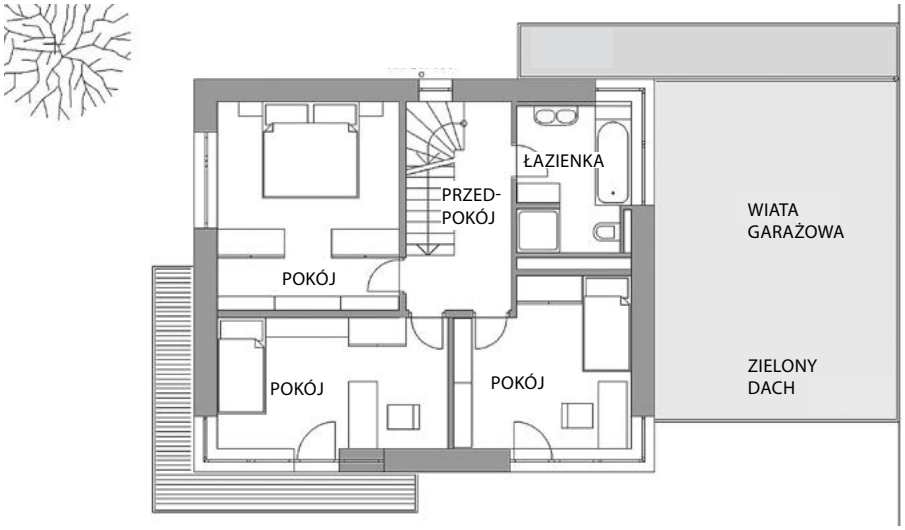
22.4 Dom jednorodzinny w Esslingen

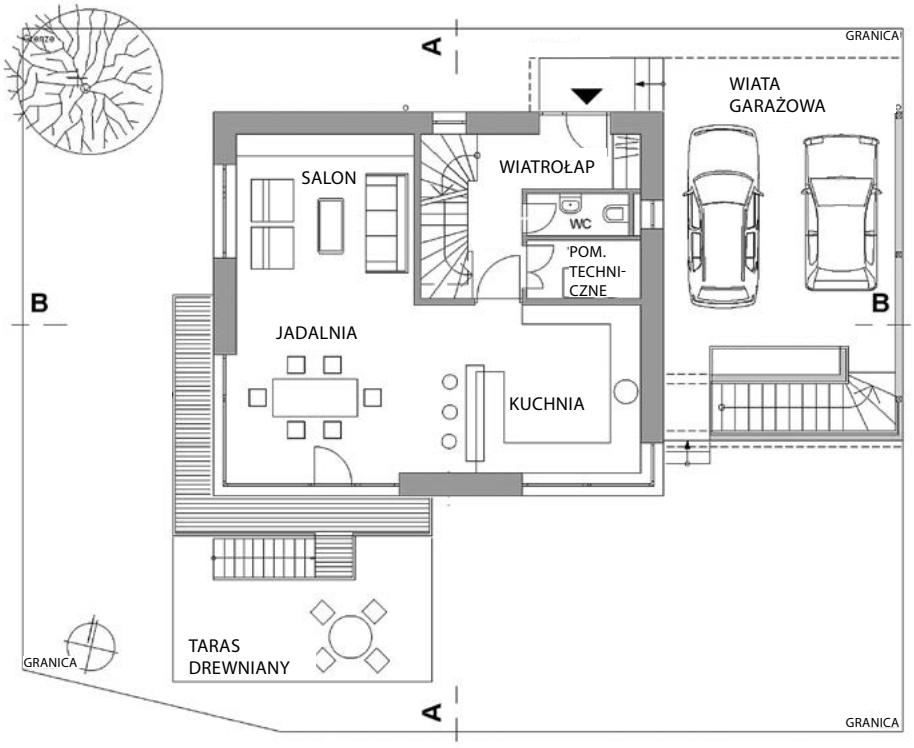


PROJEKT: DIRK SCHARMER, SÜDERGELLERSEN
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2004 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 170 m²
„CZYSTY" KOSZT BUDOWY: 1400 €/m²

Budynek zaprojektowano jako dom pasywny. Posadowiony jest na stoku i spoczywa na piwnicy z wodoszczelnego betonu. Kondygnacje nadziemne wykonano jako konstrukcję ramową z drewnianych dwuteowników. Profile te wypełnione są izolacją z płyt z włókien drzewnych aż do krawędzi.
Elementy ścienne były przygotowane w hali fabrycznej i tam, ale już we własnym zakresie, wypełniane izolacją z kostek słomy układanych na rąb. W celu uzyskania wartości $U = 0{,}12\ W/m^2K$, konstrukcję izolowano dodatkowo płytami z włókien drzewnych. Szczelną powietrznie powierzchnię wewnętrzną stanowią płyty OSB z podklejonymi połączeniami.

Z zewnątrz budynek pokryto deskowaniem modrzewiowym. Dom jest przykryty zielonym dachem. Pozwolenie na budowę uzyskano jako dopuszczenie dla pojedyn-


ŁAZIENKA
PRZED-
POKÓJ
WIATA
GARAŻOWA
POKÓJ
ZIELONY
DACH
POKÓJ
POKÓJ


GRANICA
A
WIATA
GARAŻOWA
SALON
WIATROŁAP
WC
POM.
TECHNI-
CZNE
B
B
JADALNIA
KUCHNIA
TARAS
DREWNIANY
GRANICA
A
GRANICA

SCHRÄK

22.5 Dom jednorodzinny w Westerlinde

czego przypadku.

PROJEKT: ERZ I GUGEL, OSTFILDERN
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 117 m²
POWIERZCHNIA DODATKOWA: 53 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2008 r.
KOSZT BUDOWY: 1623 €/m²

Zbudowany w roku 2007 dwukondygnacyjny budynek jest domem niskoenergetycznym, częściowo zmontowanym z prefabrykowanych płyt drewnianych. Na budowie kostki słomy wkładano na płasko w leżące poziomo na ziemi ramy drewniane, co sprawiło, że w ścianie znajdują się w pozycji stojącej. Ściany wyłożono obustronnie płytami drewnopochodnymi, a z zewnątrz dodatkowo odeskowano. Od wewnątrz ściany obmurowano niewypalonymi („zielonymi") cegłami glinianymi. Z takich samych cegieł wymurowano ścianki działowe. Izolację podłogi wykonano ze szkła piankowego w formie tłucznia. Stropy zrobiono z masywnych płyt drewnianych z izolacją tłumiącą odgłosy kroków i suchym

Feuer und
Rauchen
verboten!

22.6 Dom jednorodzinny w Bad König

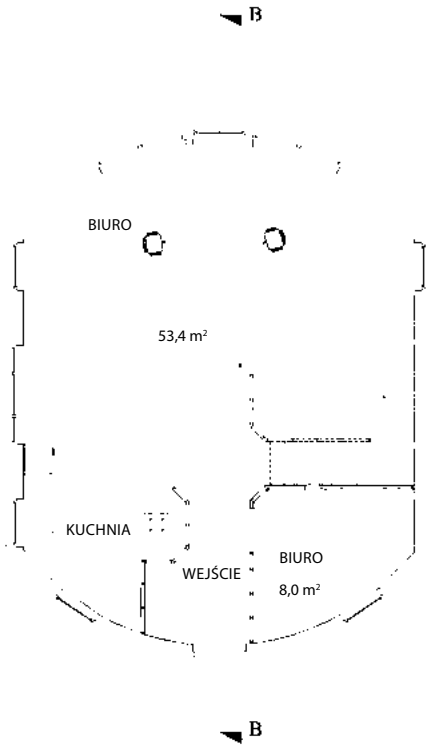
jastrychem. Poddasze nie jest użytkowe. Warstwa kostek słomy na stropie nad 1. piętrem służy jako izolacja termiczna.

PROJEKT: STEFAN KRACHT
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2007 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 140 m²
KOSZT BUDOWY: 1250 €/m²

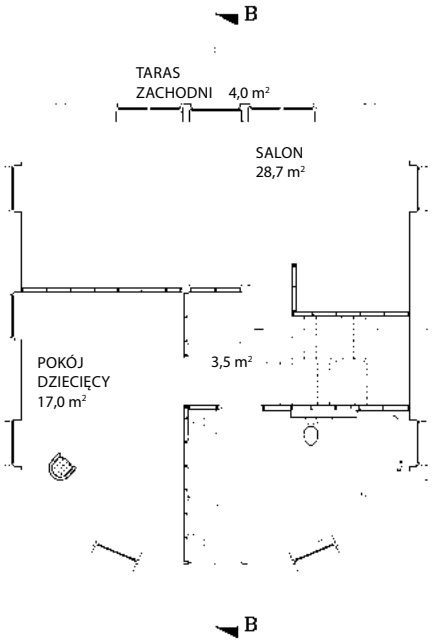
Susanne Körner i Tilman Schäberle z biura projektowego Shakti Haus zbudowali sobie w Bad König dom mieszkalny z kostek słomy wraz z pracownią.

Budynek ma szkieletową, drewnianą konstrukcję nośną i osiąga, dzięki izolacji z położonych na rąb kostek słomy, *standard KfW-40**. Dach i jedna ze ścian są zakrzywione. Powierzchnie wewnętrzne kostek słomy pokryte są tynkiem glinianym, a w niewielkiej części także płytami OSB i płytami gipsowo-włóknowymi z tynkiem glinianym. Z zewnątrz ściany pokrywa trójwarstwowy tynk wapienny. Kolektor słoneczny podgrzewa wodę i wspomaga instalację grzewczą. Resztę energii dostarcza kocioł

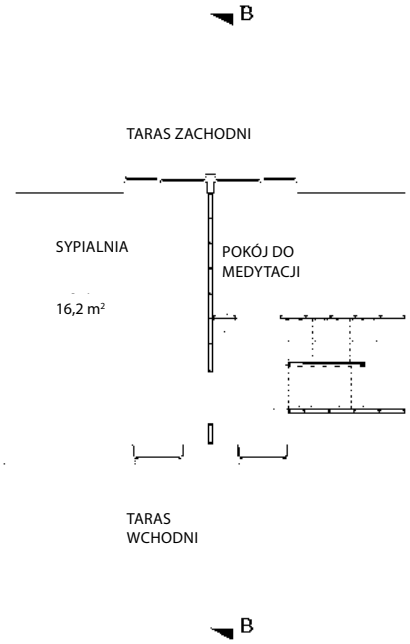
* tzn., że jego zapotrzebowanie na energię wynosi mniej niż 40 kWh/(m²·a)



PARTER



1. PIĘTRO



2. PIĘTRO

22.7 Dom jednorodzinny w Langenau

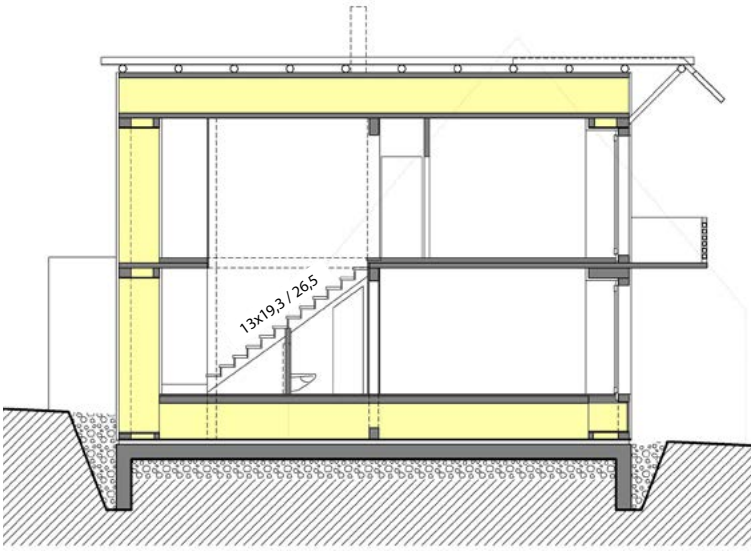
PROJEKT: SUSANNE KÖRNER I TILMAN SCHÄBERLE (SHAKTI HAUS)
WYKONANIE PRAC Z KOSTKAMI SŁOMY: CATO RÄUCHLE, PRACA WŁASNA
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2009 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA / UŻYTKOWA: ok. 240 m²

zgazowujący drewno

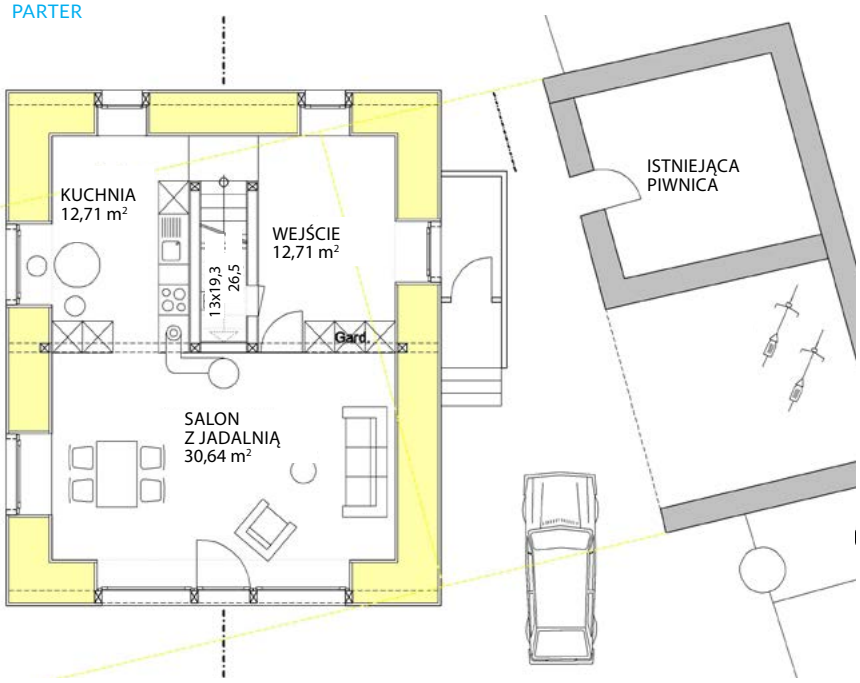
drewnianego, na którym leżą kostki słomy.

Budynek przykryty jest

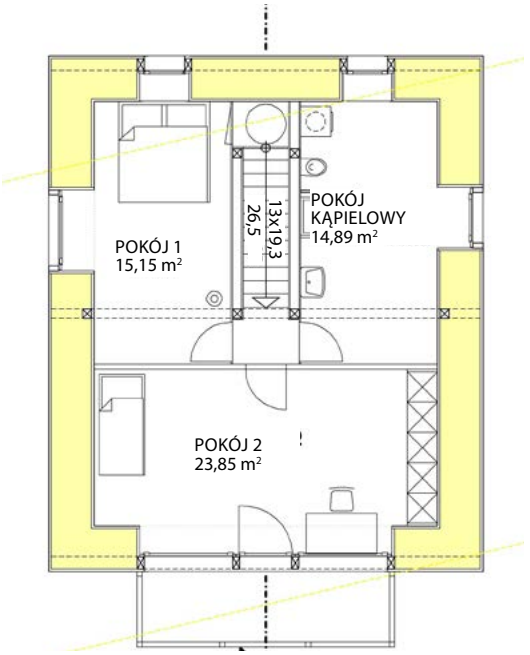
Podłoga, ściany i dach w domu mieszkalnym w Langenau, w pobliżu miasta Ulm, są izolowane warstwą słomy o grubości 80 cm. Izolację podłogi i dachu wykonano z tzw. dużych kostek „jumbo" o wymiarach 120×80×240 cm, a ściany z trochę mniejszych (80×80×160 cm). Konstrukcja dachu składa się z masywnego stropu



PARTER



1. PIĘTRO



50

50

22.8 Willa miejska w Eggenburg, Austria

zielonym dachem. Ściany od wewnątrz pokrywa tynk gliniany, a z zewnątrz wapienny.

Z punku widzenia statyki, jest to budynek o słomianej konstrukcji nośnej tylko początkowo. Ciężar dachu kompresuje kostki słomy i dach osiada nieco, aż do momentu, gdy konstrukcja drewniana przejmuje resztę obciążenia.

PROJEKT: ATELIER WERNER SCHMIDT
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2009 r.

POWIERZCHNIA MIESZKALNA / UŻYTKOWA: ok. 125 m²

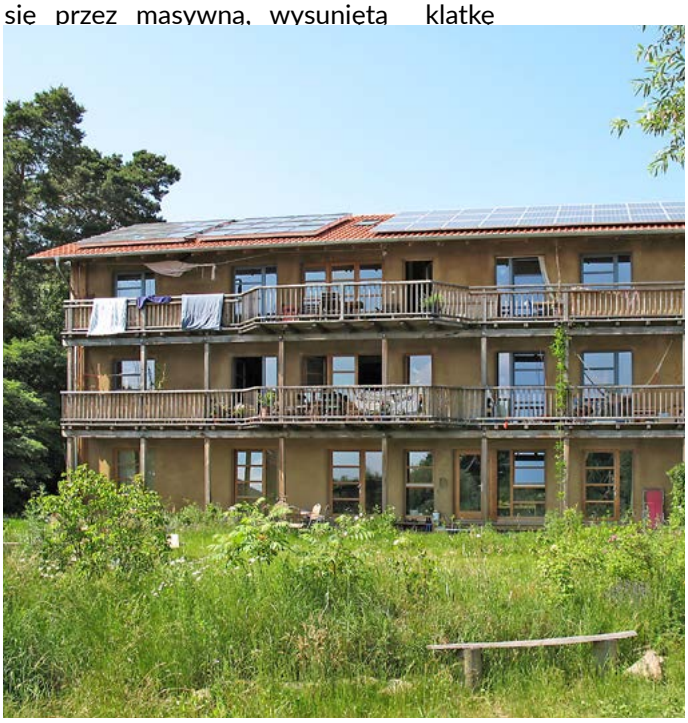
22.9 Dom wielorodzinny Strohpolis w Sieben Linden koło Poppau

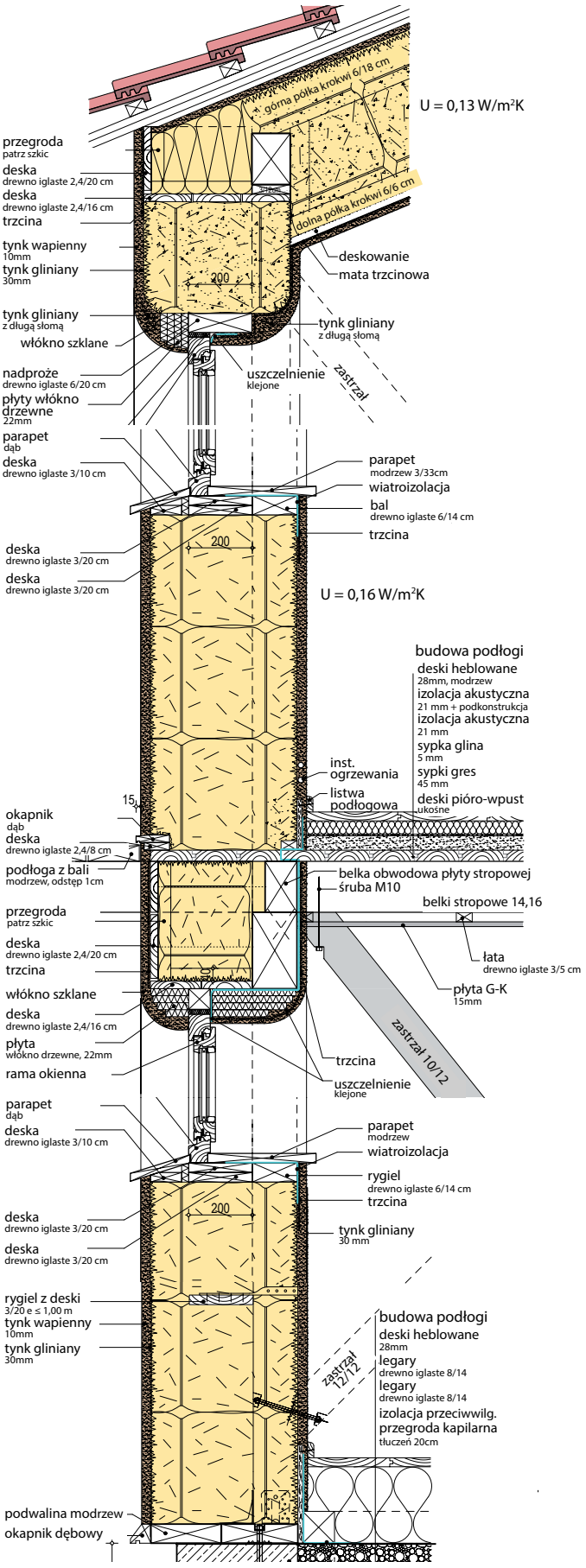
Willa miejska dla wieloosobowej rodziny powstała w wyniku remontu kapitalnego starego budynku z roku 1964 oraz poprzez zastąpienie dawnego poddasza penthousem. Stare ściany zostały pokryte osłoną z kostek słomy kładzionych na rąb, a dach prefabrykowanymi elementami skrzynkowymi z drewna, wypełnionymi słomą.

Jako źródło energii cieplnej zastosowano kocioł opalany pelletami.

PROJEKT: BAUATELIER SCHMELZ & PARTNER
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2012 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA : 276 m²

Ten trzykondygnacyjny dom wielorodzinny o powierzchni ok. 530 m² jest dotychczas największym budynkiem mieszkalnym z kostek słomy w Niemczech. To konstrukcja szkieletowa, drewniana, z wypełnieniem z kostek słomy kładzionych na płasko. Część robót wykonano podczas warsztatów i seminariów. Ściany z kostek słomy są z obu stron pokryte tynkiem glinianym, który jest zbrojony przez dodawanie dużej ilości włókien. Budynek posadowiono na ławach fundamentowych. Izolacja podłogi jest wykonana z konopi, a dachu – z kostek słomy. Ściany działowe wykonano z prefabrykowanych elementów z gliny lekkiej. Do budynku wchodzi się przez masywną, wysuniętą klatkę





PRZEKRÓJ FASADY

22.10 Budynek mieszkalny w Egg, Austria

schodową i zadaszone galerie. Podgrzewanie wody wspomagają kolektory słoneczne.

SYSTEM ŚCIENNY: KONSTRUKCJA SZKIELETOWA DREWNIANA, Z ZEWNĘTRZNĄ IZOLACJĄ Z KOSTEK SŁOMY, UKŁADANYCH NA PŁASKO
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2005 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA / UŻYTKOWA: ok. 350m²
KOSZT BUDOWY: 1300 €/m²

PROJEKT: GEORG BECHTER ARCHITEKTUR+DESIGN
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2011 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA : 170 m²

PROJEKT: DIRK SCHARMER
WYKONANIE PRAC Z KOSTKAMI SŁOMY: WOLONTARIUSZE, SEMINARIA, LOKALNE FIRMY, UDZIAŁ WŁASNY

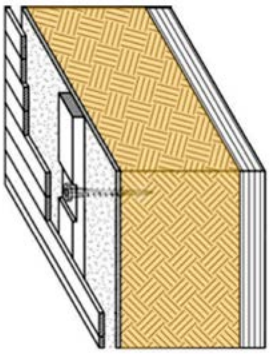
Budynek murowany z cegły, postawiony w roku 1964, miał być remontowany i prze-

22.11 Budynek biurowo-wystawowy w Böheimkirchen, Austria

uniesiony ponad stropem dach. Dzięki temu, cały budynek otula warstwa izolacyjna z kostek słomy o grubości 50 cm. Spoczywają one na budowany na dom niskoenergetyczny. Dlatego rozebrano poddasze, dobudowano piętro, występy i wnęki fasady wyrównano oraz zlikwidowano okapy dachu. W ten sposób powstała zwarta bryła, której ściany ceglane o grubości 36,5 cm otoczono warstwą z kostek słomy o grubości 38 cm i okładziną wentylowaną z gontów drewnianych. Całkowita grubość ścian wzrosła do 91 cm. Aby pomieszczenia dostatecznie doświetlić, wykonano ukośnie ścięte wnęki okienne. Ściany wewnętrzne w części mieszkalnej wyłożono deskami z lokalnie pozyskanej jodły, a ściany sypialni pokryto tynkiem glinianym. Ciepła dostarcza kocioł opalany pelletami.

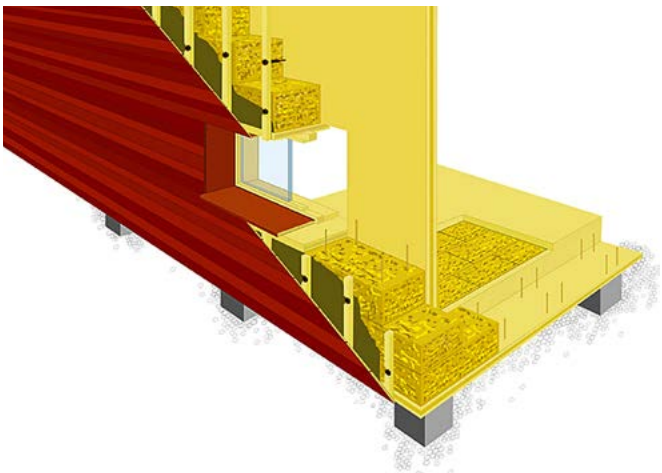
Budynek określany jako *S-HOUSE* został zaprojektowany jako dom pasywny z zastosowaniem niemal wyłącznie materiałów wyprodukowanych z surowców odnawialnych. Celem inwestycji była dziesięciokrotna redukcja zużycia zasobów naturalnych w porównaniu z budynkiem konwencjonalnym.

Konstrukcja ścian, podłogi i stropu, wykonana z pełnych płyt klejonego drewna KLH o grubości 10 cm, spoczywa na punktowych fundamentach. Całość przykrywa

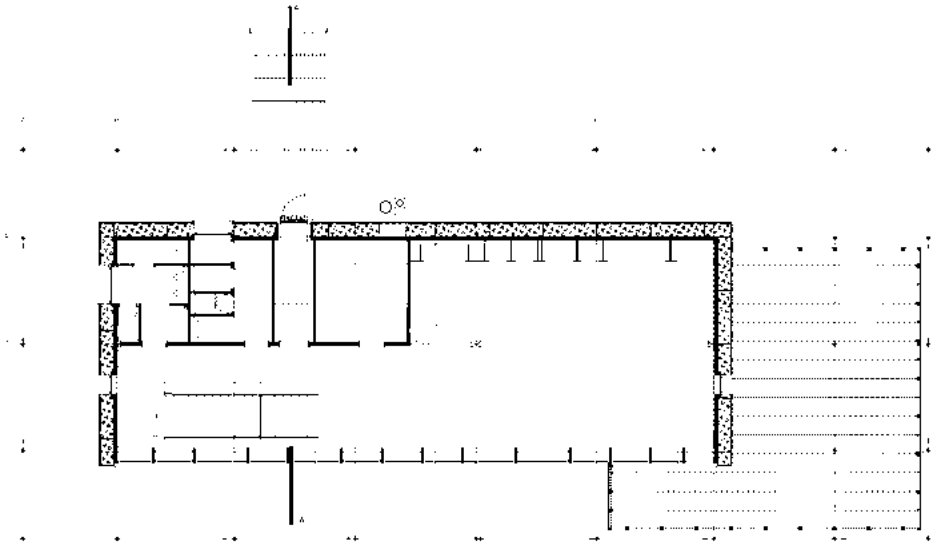


BUDOWA ŚCIANY OD ŚRODKA NA ZEWNĄTRZ, OD PRAWEJ DO LEWEJ	
płyta KLH	106 mm
kostki słomy	500 mm
tynk gliniany	20 mm
wentylacja / kontrałaty	50 mm
przymocowane śrubami Treeplast ®	
poziome deskowanie	20 mm
RAZEM:	696 mm

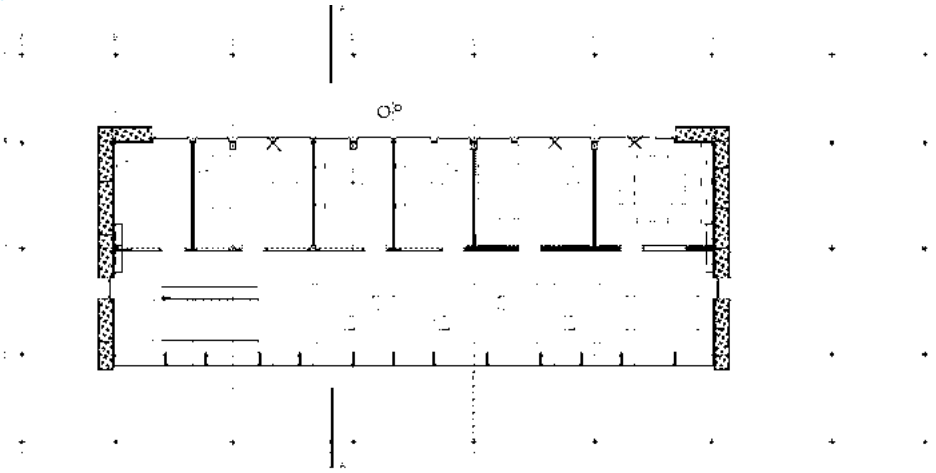
współczynnik U = 0,08 W/m^{2}K

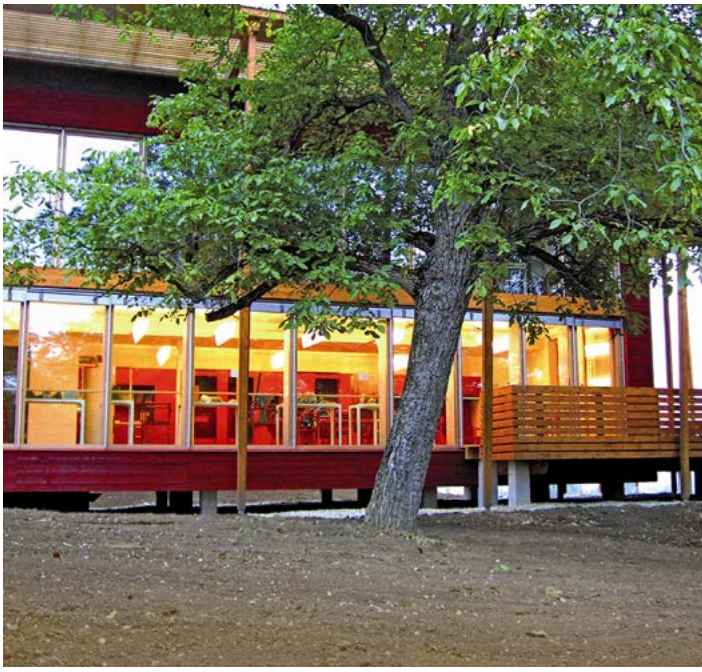


PARTER



1. PIĘTRO





22.12 Budynek mieszkalny w Knutwil, Szwajcaria

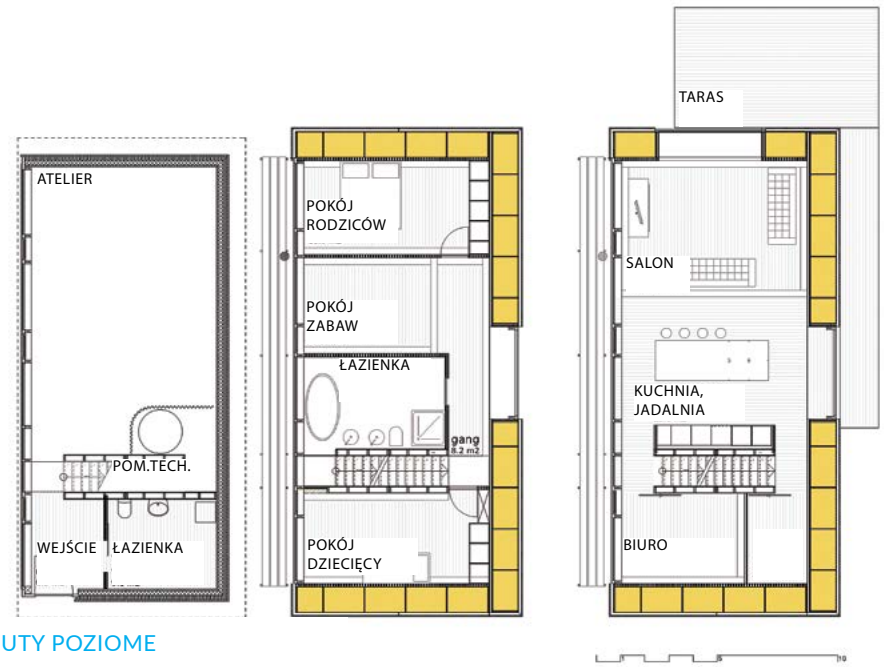
3 miesiące. Ściany zewnętrzne składają się z grubych na 70 cm drewnianych elementów wystającej płycie podłogowej i są przymocowane do ścian kołkami drewnianymi oraz sznurami konopnymi.

Wentylowane deskowanie przymocowano do słomy bez mostków cieplnych, przy pomocy śrub Treeplast®.

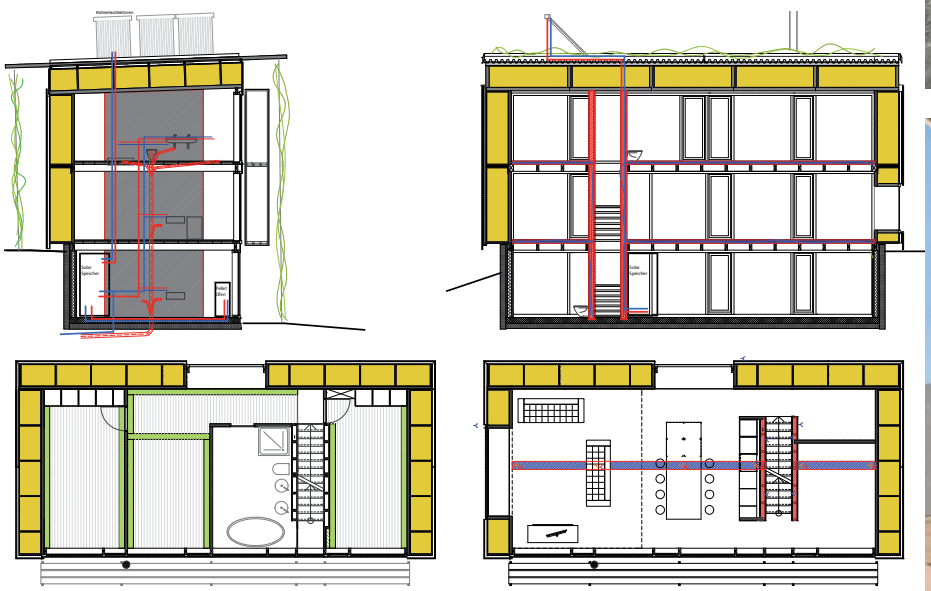
Warstwa tynku glinianego o grubości 2 cm służy jako izolacja wiatrowa, chroni przed wilgocią i poprawia właściwości przeciwpożarowe ścian. Glina potrzebna do tynkowania pochodziła z wykopów pod fundamenty.

PROJEKT: GEORG SCHEICHER, GRaT (UNIWERSYTET TECHNICZNY, WIEDEŃ)
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2005 r.
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 332 m²

Dzięki zastosowaniu prefabrykatów praca przy wznoszeniu budynku, od robót ziemnych, aż do wykończenia, trwała tylko



RZUTY POZIOME



SCHEMAT URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH

SZACHT
INSTALACJA ELEKTRYCZNA, WODNA, KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

KANAŁY STROPOWE
GŁÓWNA INSTALACJA ELEKTRYCZNA

ROZPROWADZENIE INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ
KANAŁY W PODŁODZE
PRZEWODY ELASTYCZNE

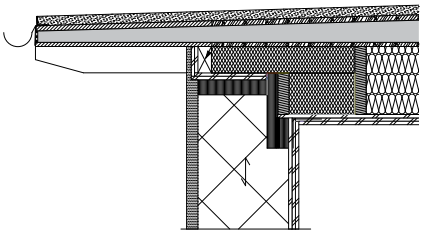
22.13 Budynek mieszkalny w Wienerherberg, Austria

Budynek mieszkalny stoi na 12 studniach-fundamentach, które połączone są belkami skrzyniowych, wypełnionych wielkowymiarowymi kostkami słomy. Pomalowana na kolor purpurowy, wentylowana elewacja z desek świerkowych służy jako warstwa ochronna przed wpływami atmosferycznymi. Warstwa wewnętrzna ścian osłonowych i ścianki działowe wykonano z płyt drewna klejonego krzyżowo o grubości 10 cm. Budynek przykrywa zielony dach, również o konstrukcji prefabrykowanej z elementów skrzynkowych.

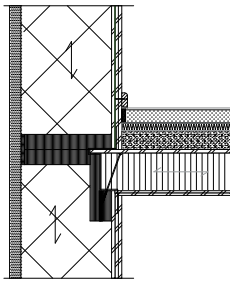
Do podgrzewania wody użytkowej służą kolektory słoneczne o powierzchni 10 m², a w razie konieczności można też korzystać z pieca na pellety.

PROJEKT: ATELIER WERNER SCHMIDT
OPRACOWANIE PROJEKTU: MICHAEL SCHNEIDER
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 217 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2012 r.

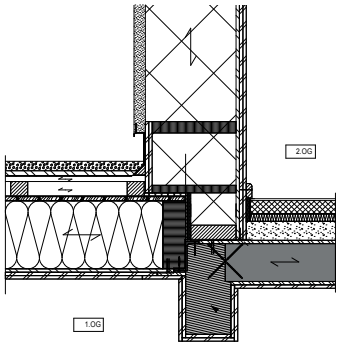
22.14 Budynek biurowo-wystawowy w Verden



DETAL: POŁĄCZENIE DACHU I ŚCIANY



DETAL: OPARCIE STROPU NA ŚCIANIE



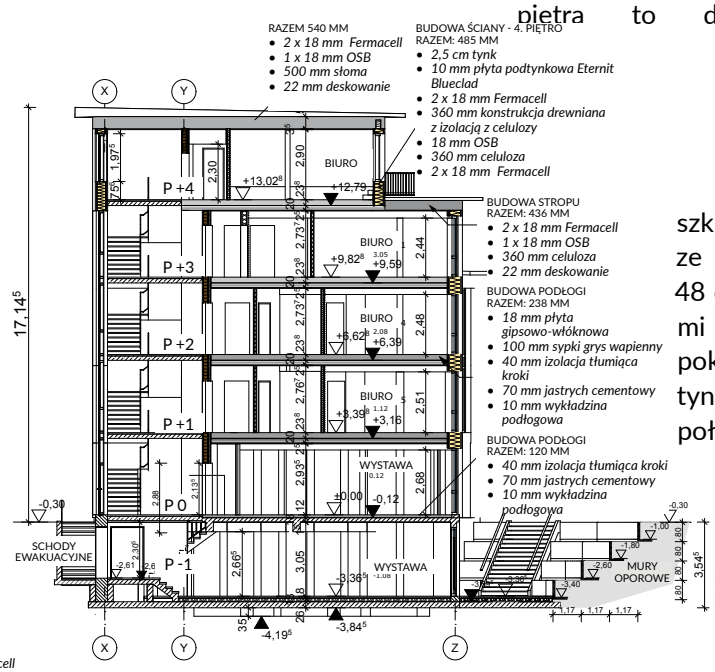
DETAL: POŁĄCZENIA STROPÓW

betonowymi. Na nich położono prefabrykowaną w trzech częściach płytę podłogową o grubości 50 cm. Składa się ona z dźwigarów z drewna klejonego, połączonych od spodu płytami OSB, a od góry płytami, których spoiwem jest cement. Całość stanowi element skrzyniowy, wypełniony kostkami słomy. Ściany zewnętrzne budynku to konstrukcja prefabrykowana, wypełniona kostkami słomy i pokryta wentylowanym deskowaniem modrzewiowym. Budynek był zaplanowany i wykonany jako dom pasywny. Jedynym sposobem ogrzewania pomieszczeń jest kontrolowana wentylacja mechaniczna z powietrznowodną pompą ciepła. Dzięki dużemu stopniowi prefabrykacji, budowa trwała jedynie 3,5 miesiąca.

PROJEKT: SCHMELZ & PARTNER
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2004 r.
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 151 m²
KOSZTY BUDOWY: 1190 €/m²

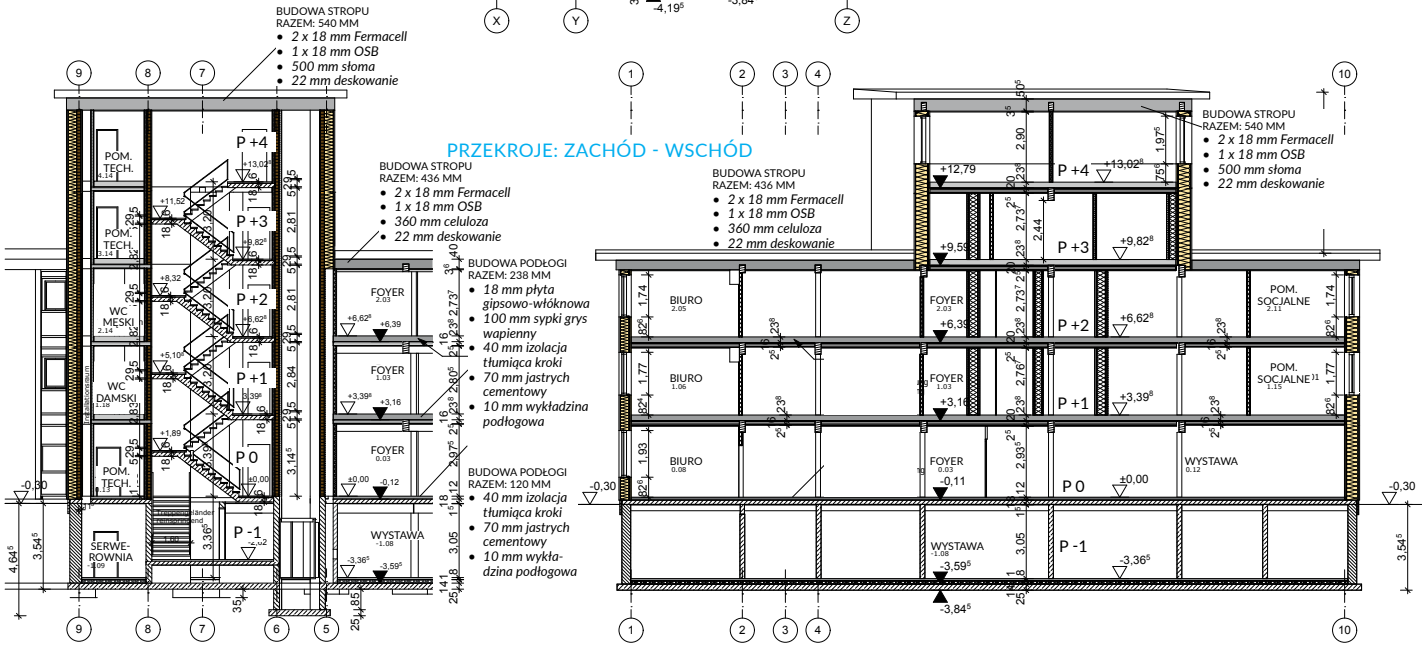
Ośrodek szkoleniowy Północnoniemieckiego Centrum Budownictwa Zrównoważonego (niem. *Kompetenzzentrum des Norddeutschen Zentrums fur Nachhaltiges Bauen*) zawiera dużą przestrzeń wystawową oraz biura i pomieszczenia seminaryjne.

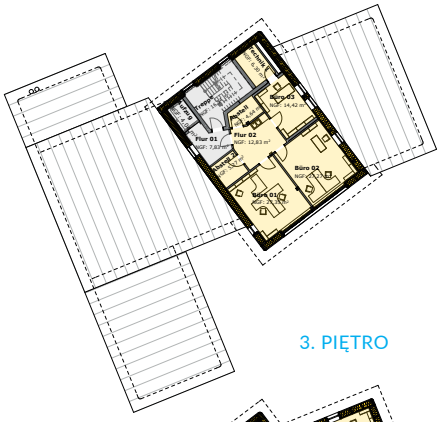
Ściany piwnic zbudowano z pustaków ceramicznych o wysokiej izolacyjności. Ściany nośne od parteru aż do czwartego piętra to drewniana konstrukcja szkieletowa, składająca się ze skrzyń o grubości 48 cm, wypełnionych kostkami słomy. Z zewnątrz ściany pokrywa trójwarstwowy tynk wapienny. Od wewnątrz położono dwie warstwy



PRZEKRÓJ PÓŁNOC – POŁUDNIE, BUDYNEK CENTRALNY

PRZEKROJE: ZACHÓD - WSCHÓD

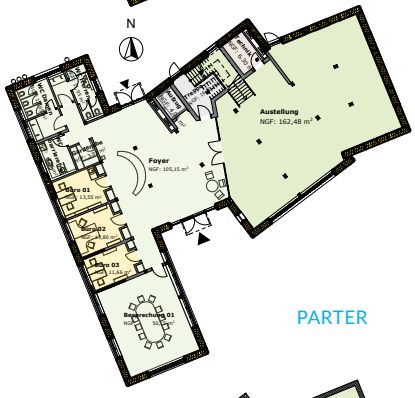




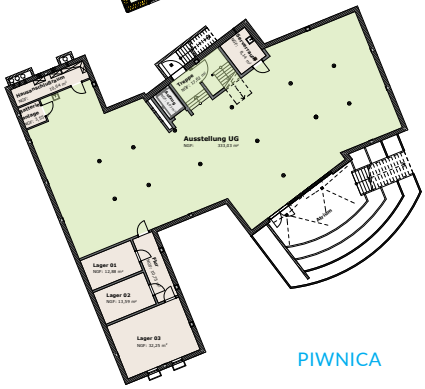
3. PIĘTRO

2. PIĘTRO

1. PIĘTRO



PARTER



PIWNICA

22.15 Budynek mieszkalny w Langtaufers, Włochy

ogniochronnych płyt i jedną warstwę tynku glinianego. Zastosowano masywne stropy drewniane o grubości 24 cm. Dach zielony zaplanowano jako ekstensywny.

Obiekt spełnia standard budynku pasywnego. Próżniowe kolektory słoneczne zapewniają 93% potrzebnej energii. Pozostałych 7% dostarcza mikroblok grzewczo-energetyczny. Odzysk ciepła z instalacji wentylacyjnej dopełnia koncepcję energetyczną. W celu uzyskania standardu „plus energetycznego", na 5. piętrze zlokalizowano panele fotowoltaiczne o powierzchni 170 m² i mocy 20 kW_p. Wszystkie pomieszczenia posiadają oświetlenie LED.

PROJEKT: ARCHITEKTEN FÜR NACHHALTIGES BAUEN, FRIDO ELBERS, THOMAS ISSELHARD, DIRK SCHARMER
ZAKOŃCZENIE BUDOWY:

22.16 The Spiral House w Castlebar, Co. Mayo, Irlandia

PLANOWANE NA ROK 2014
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 1780 m² Z POWIERZCHNIĄ WYSTAWOWĄ 500 m²

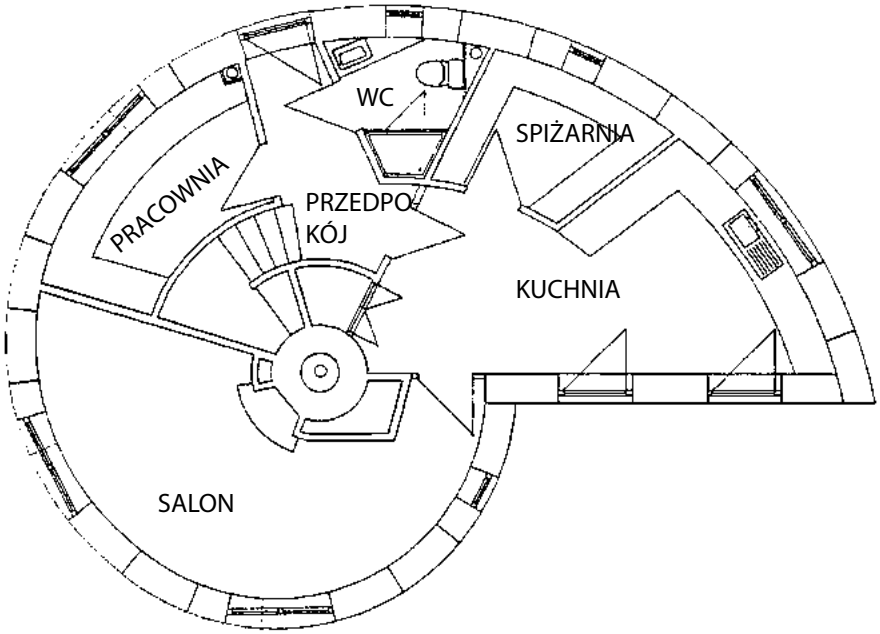
Ten trzyipółkondygnacyjny budynek o ścianach nośnych z kostek słomy, zbudowany w pobliżu miejscowości Graun w Południowym Tyrolu, składa się z dwóch apartamentów do wynajęcia i jednego atelier. Na poddaszu została przewidziana także antresola, która podnosi ilość powierzchni użytkowej w budynku do 400 m². Ściany zbudowano z kostek słomy o grubości 120 cm, leżących na płasko. Konstrukcja dachu w kształcie piramidy składa się z drewna i kostek *jumbo* o grubości 70 cm. Dom z zewnątrz pokryto tynkiem wapiennym, a od wewnątrz glinianym. Zapotrzebowanie budynku na energię cieplną wynosi ok. 20 kWh/m²•a.

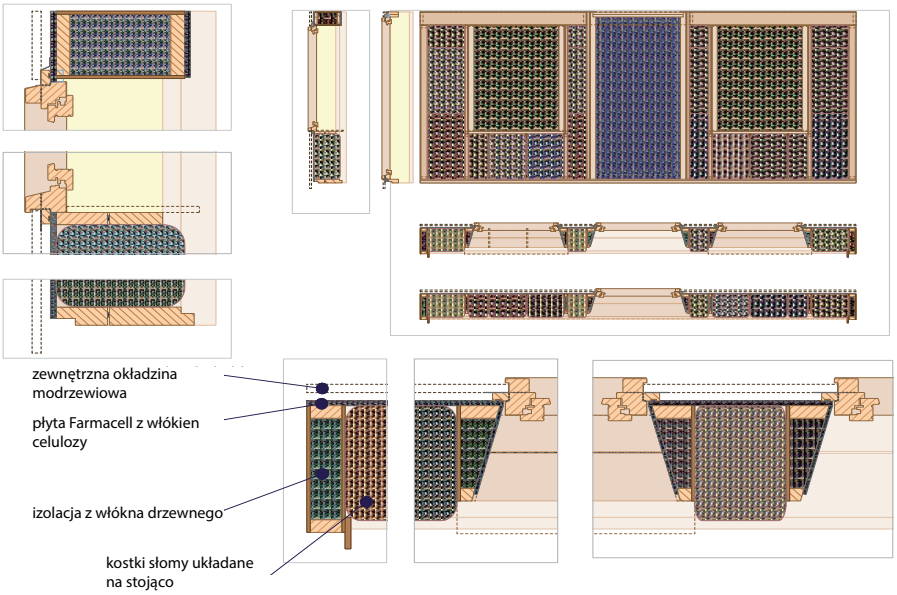
PROJEKT I KIEROWNICTWO BUDOWY Z KOSTEK SŁOMY: ATELIER WERNER SCHMIDT
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2008 r.

POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 300 m², Z ANTRESOLĄ 400 m².

Dom Spiralny jest jednym z pierwszych w Europie budynków o ścianach nośnych z kostek słomy, na budowę którego uzyskano urzędowe pozwolenie. Jest też pierwszym domem dwukondygnacyjnym o takiej konstrukcji na naszym kontynencie. Wzniesiony został nieomal wyłącznie przez wolontariuszy przy wsparciu ze strony Amazon Nails - grupy wykonawców, której członkiniami są głównie kobiety. Poprzez angażowanie amatorów organizacja realizuje cel przekształcania procesu budowy we wspólne doświadczenie, do którego każdy może coś wnieść, w miarę własnych możliwości.

Inwestor, Norita Clesham, zaprojektowała rzut budynku w kształcie muszli (patrz rysunek). Z jednej strony dom jest otwarty na zewnątrz, ale poprzez coraz bardziej zwężające się, zaokrąglone ściany wewnętrzne sprawia, że mieszkańcy czują się w nim dobrze


WC
SPIŻARNIA
PRACOWNIA
PRZEDPO
KÓJ
KUCHNIA
SALON



DETALE PREFABRYKOWANYCH ELEMENTÓW ŚCIENNYCH, IZOLOWANYCH KOSTKAMI SŁOMY

22.17 Budynek mieszkalno-biurowy w Amsterdamie, Holandia

chronieni i bezpieczni. Ściany nośne posadowiono na fundamencie z lokalnego wapienia.

Z uwagi na kształt rzutu budynku, konstrukcja dachu jest skomplikowana. Składa się ona z krokwi (dwuteowników drewnianych) o długości od 3,5 do 8,5 m. Centralnie zbudowany komin służy za oparcie dla krokwi. Budynek ten ma więc konstrukcję hybrydową, tzn. ściany przenoszą tylko część obciążeń. Dach pokrywa ok. 7000 ręcznie wykonanych gontów z drewna cedrowego. Na kostkach słomy z zewnątrz położono najpierw dwuwarstwowy tynk gliniany, a potem kolejne trzy warstwy tynku wapiennego. Tynk kładziono wielokrotnie, ponieważ roboty rozpoczęto zbyt późno i karbonizacja wapna nie była

22.18 Budynek mieszkalny w Ouwerkerk, Holandia

wystarczająca. Spowodowało to wnikanie w tynk wody, która zamarzając, częściowo go zniszczyła. W konsekwencji konieczne było wykonanie znacznych poprawek w kolejnym roku.

PROJEKT: NORITA CLESHAM
KIEROWNICTWO BUDOWY Z KOSTEK SŁOMY: BARBARA JONES, AMAZON NAILS
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2002 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 110 m²

Pięciokondygnacyjny budynek o konstrukcji szkieletowej wypełnia lukę między dwoma innymi domami. Fasada składa się z wysokich na całą kondygnację prefabrykowanych elementów z ram drewnianych, wypełnionych słomą. Ściany od wewnątrz wytynkowano gliną, z zewnątrz zaś pokryto deskowaniem modrzewiowym z otwartymi fugami. Niebieska folia służy jako izolacja wiatrowa i ochrona przed deszczem.

PROJEKT: DAVE LAMBRECHTS, RENÉ DALMEIJER, DENNIS FILLIE
ROBOTY ZWIĄZANE Z KOSTKAMI SŁOMY: RENÉ DALMEIJER
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 278 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2007 r.
KOSZTY: 988 €/m²

Budynek Butterfly-House Jana Sonnevelda to pierwszy w Holandii dom zbudowany z kostek słomy zbudowany z urzędowym pozwoleniem. Inwestor razem z zaprzyjaźnionym architektem wykonał już plany budynku konwencjonalnego. Kiedy jednak zapoznał się z budownictwem z kostek słomy, zmienił projekt. Przez brak doświadczenia architekta powstały znaczne problemy, które spowodowały wzrost pierwotnie przewidzianych kosztów o ok. 200.000€. Same kostki słomy kosztowały jedynie 500€.

Dużym obciążeniem finansowym była robocizna. Budynek o kształcie motyla wygląda bardzo interesująco i jego bryła przyciąga spojrzenia. Ściany prowadzone w narożnikach budynku po łukach o małym promieniu były trudne do wykonania, ponieważ kostki należało mocno zginać. W Oval Office ściany miały być pierwotnie wykonane jako nośne, z kostek słomy. Okazało się to jednak prawie niemożliwe i trzeba było zbudować dodatkową, stabilizującą konstrukcję drewnianą.

Główna część budynku ma stalową konstrukcję nośną i pokryta jest dachem z blachy trapezowej. Rozwiązanie to początkowo wydawało się proste, lecz w czasie budowy okazało się niezwykle skomplikowane, z uwagi na mostki termiczne i trudne połączenia ze słomą. Kolejną przyczyną wzrostu kosztów była niewystarczająca koordynacja wszystkich robót budowlanych. Brak projektu wykonawczego powodował opóźnienia i konieczność improwizacji na budowie. Do tego wszystkie-

22.19 Budynek mieszkalny w Taos, USA

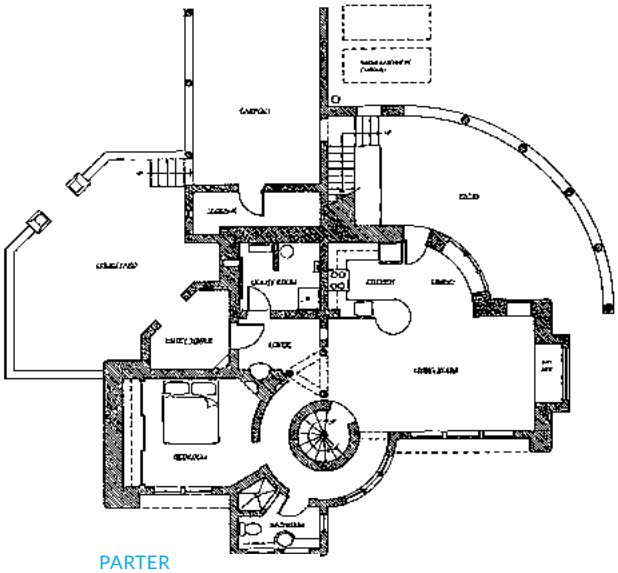
go doszło częściowo błędne wykonanie dachu przez lokalne firmy, a w rezultacie – zbyt małe okapy. To sprawiło, że podczas wysokiej wilgotności w lecie wykonanie wodoszczelnego tynku przez długi czas nie było możliwe. Potym ,jak próba z tynkiem wapiennym okazała się błędem, rozwiązaniem właściwym okazało się położenie tynku glinianego i pokrycie go kilkukrotnie powłoką wapienno-kazeinową.

Budynek stoi na metrowej wysokości, podwójnym cokole wymurowanym z kamieni wapiennych. Przestrzeń między murami wypełnia izolacja cieplna. Podłoga leży na grubej warstwie z muszli i keramzytu.

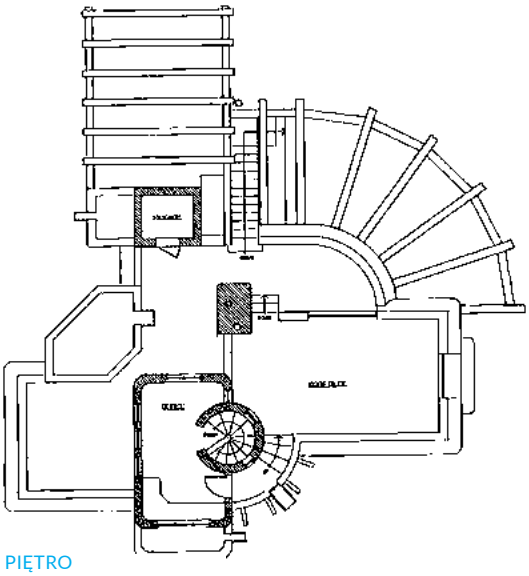
Dzięki swojej niezwykłej formie oraz temu, że dom zbudowano z kostek słomy, „Butterfly-House" zyskał ponadregionalną sławę. W ten sposób budownictwo z kostek słomy stało się znane szerszej publiczności.

PROJEKT: WIM VAN DORT, JAN SONNEVELD
ROBOTY ZWIĄZANE Z KOSTKAMI SŁOMY: MARTIN OEHLMANN
ŚCIANY: KONSTRUKCJA STALOWA WYPEŁNIONA KOSTKAMI SŁOMY (GŁÓWNA CZĘŚĆ BUDYNKU)
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 1998 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA / UŻYTKOWA: OK. 200 m²

Rzut poziomy tego budynku rozłożony



PARTER



PIĘTRO

22.20. Budynek mieszkalny, Balneario Punta Ballena, Urugwaj

jest wokół centralnych krętych schodów. Cylindryczna bryła klatki schodowej została z zewnątrz wyróżniona kolorem.

Na piętrze znajduje się studio i taras z rozległym widokiem na pustynny krajobraz. Dom jest energetycznie samowystarczalny i zaprojektowany z myślą o klimacie pustynnym z dużymi amplitudami temperatury między dniem i nocą. Fasada południowa składa się głównie z okien, które umożliwiają pasywne wykorzystywanie energii słonecznej. Mury międzyokienne oraz wewnętrzne wykonano z bloczków glinianych (ang. *adobes*) by służyły jako masa termiczna. Pozostałe ściany zewnętrzne zbudowano z kostek słomy pokrytych grubą warstwą tynku glinianego. Komin słoneczny nad klatką schodową wyciąga z budynku gorące powietrze.

W zimie kominek opalany drewnem służy jako dodatkowe źródło ciepła.

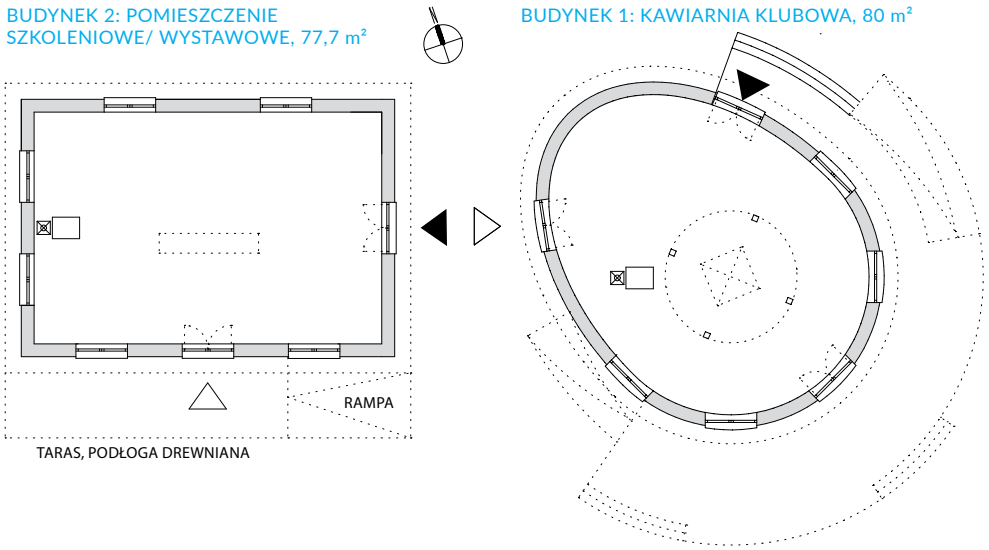
22.21 Budynek szkoleniowy i budynek biurowy w Prenzlau

PROJEKT: EDGE ARCHITECTS,
KEN ANDERSON, PAMELA FREUND
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2004 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 140 m²

drewnianych znajduje się warstwa kostek słomy o grubości 50 cm, stojąca na cokole z lokalnie pozyskanego kamienia.

Zarówno z zewnątrz, jak i od środka kostki słomy pokrywa

Konstrukcję ścian i dachu w tym domu wykonano z okrągłych pni eukaliptusowych. Po zewnętrznej stronie słupów



22.22 Budynek mieszkalny w Stupavie, Słowacja

PROJEKT: CREATERRA (BJÖRN KIERULF I MARIAN PREJSA)
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2013 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 99,5 m²

dwuwarstwowy tynk gliniany. Pierwsza warstwa wykonana jest z mieszanki gliny z sieczką słomianą, druga z tłustej gliny pochodzącej z terenu budowy, odchudzonej piaskiem w stosunku 1:4.

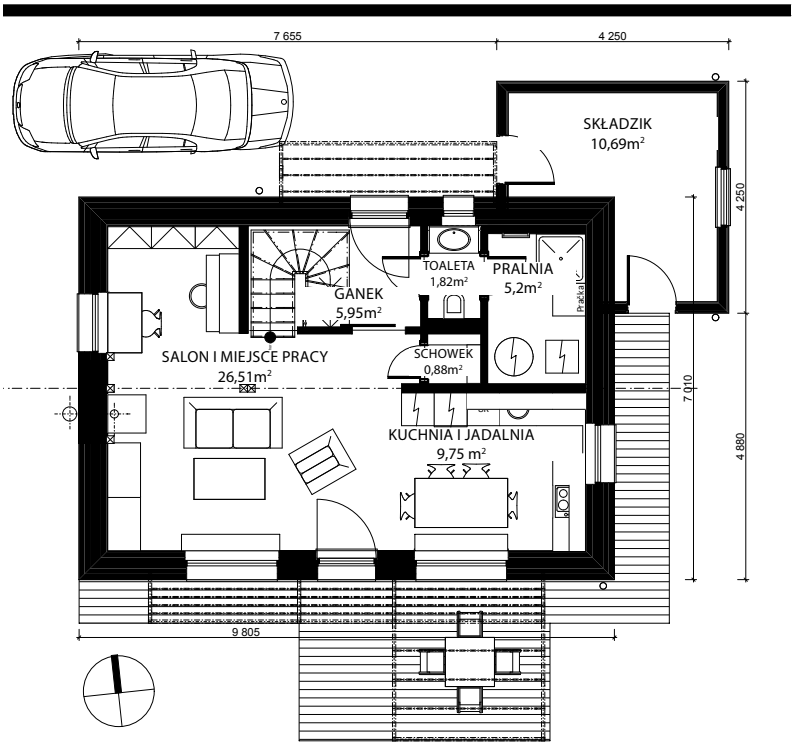
Ściany wewnętrzne o grubości 12 cm zbudowano z plecionki otynkowanej z obu stron gliną. Budynek pokrywa strzecha trzcinowa o grubości 25 cm.

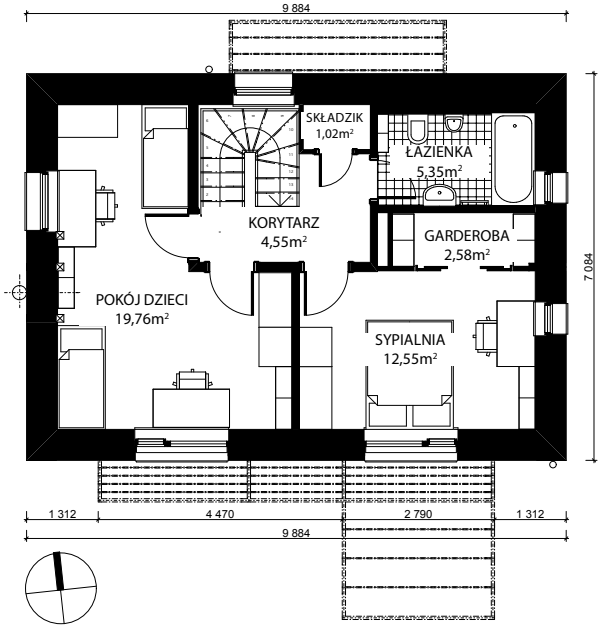
PROJEKT: CECILIA ALDERTON
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 1997 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA / UŻYTKOWA: OK. 100 m²

Obydwa budynki stacji ekologicznej w Prenzlau posiadają konstrukcję szkieletową drewnianą, wypełnioną kostkami słomy ułożonymi na rąb. Ściany otynkowano od wewnątrz tynkiem glinianym, a z zewnątrz wapiennym. Izolację dachu wykonano z wełny konopnej.

Roboty budowlane wykonała grupa 20 bezrobotnych kobiet i mężczyzn w ramach szkolenia podnoszącego kwalifikacje. Rzut części biurowej ma kształt jajowaty. Budynek szkoleniowy (niem. *Seminargebaüde*) jest wzniesiony na planie prostokąta i jest przeryty łukowatym dachem ze świetlikiem w kształcie piramidy.

PROJEKT, STATYKA I KIEROWNICTWO BUDOWY: STROH UNLIMITED, FRIEDERIKE FUCHS, BRITTA IMHOFF
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA BUDYNKU BIUROWEGO: 78 m²


7 655
4 250
SKŁADZIK
10,69m²
4 250
TOALETA
1,82m²
PRALNIA
5,2m²
GANEK
5,95m²
SALON I MIEJSCE PRACY
26,51m²
SCHOWEK
0,88m²
KUCHNIA I JADALNIA
9,75 m²
7 010
4 880
9 805


9 884
SKŁADZIK
1,02m²
ŁAZIENKA
5,35m²
KORYTARZ
4,55m²
GARDEROBA
2,58m²
POKÓJ DZIECI
19,76m²
SYPIALNIA
12,55m²
7 084
1 312
4 470
2 790
1 312
9 884

22.23 Kopuła z kostek słomy jako dźwiękowe atelier, Forstmehren

POWIERZCHNIA UŻYTKOWA BUDYNKU SZKOLENIOWEGO: 80 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2008 r.

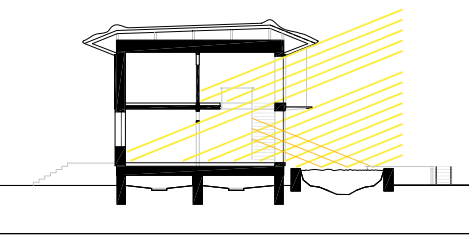
Dwupiętrowy budynek o zwartej bryle został zaprojektowany jako dom pasywny z wymuszoną wentylacją i systemem odzyskiwania ciepła. Zewnętrzne ściany nośne wykonano z prefabrykowanych paneli słomianych firmy ECOCOCON. Elementy te są szerokie na 1,20 m i mają w czterech narożnikach krawędziaki 45×90 mm, co po połączeniu z elementem sąsiednim daje słup o przekroju 90×90 mm. Profile te są uznawane za drewnianą konstrukcję nośną. Elementy mają grubość 40 cm, a wypełniająca je słoma przycinana jest piłą już u wytwórcy, tworząc gładką powierzchnię. W tym przypadku od wewnątrz otynkowano ją tynkiem glinianym o grubości 2,5 cm. Dodatkowa izolacja zewnętrzna o grubości 10 cm z płyt z włókien drzewnych zapobiega kondensacji pary wodnej w słomie.

Na tych płytach na parterze położono przewidziany dla takiego podłoża tynk mineralny. Warstwę wierzchnią stanowi cienki tynk silikonowy. Na piętrze zastosowano deskowanie modrzewiowe. Zielony dach zaizolowano warstwą z płatków celulozy o grubości 40 cm. W celu uniknięcia osuwania się substratu, na powłoce odpornej na przebicie korzenami położono profile aluminiowe w funkcji progów.

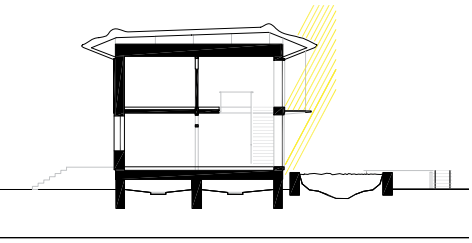
W Forstmehren, w górach Westerwald, powstała kopuła z kostek słomy służąca jako atelier do komponowania, tańców sakralnych i jako sala koncertowa.

Pomieszczenie ma rzut okręgu o średnicy 8,20 m i wysokość w świetle ok. 5,10 m. Kopuła jest od południa otwarta szerokim na 2,70 m oknem, przez które rozciąga się widok na łąki i pola. Kopuła o średnicy 180 cm z trzywarstwowego szkła akrylowego zapewnia równomierne górne oświetlenie. Wnętrze budynku pokrywa trójwarstwowy tynk gliniany. Ze względów akustycznych powierzchnie między żebrami są wklęsłe. Aby zapobiec wnikaniu pary wodnej, ostatnią warstwę wykonano z zaprawy z dodatkiem 5% pokostu lnianego. W tynku wbudowano lampy, zaprojektowane przez Manfreda Fahnerta, które dają indywidualne, ciepłe światło (patrz str. 119, na dole, po prawej). Cokół z betonu porowatego o wysokości 1,50 m obsypano z zewnątrz ziemią i obsadzono roślinami. W środku pomieszczenia cokół ma tylko 1 m wysokości z uwagi na wykonane warstwy podłogi. Na cokole spoczywa półkulista kopuła z kostek słomy układanych na promienistej konstrukcji ze smukłych łuków drewnianych.

22.24. Budynek biurowy w Tattendorf, Austria



ZIMA



LATO

na budowę koleją i montowano z użyciem dźwigu samojezdnego.

łuki o przekroju 8x8 cm z klejonych desek ustawionych na cokole co 55 centymetrów. Układane na rąb kostki słomy tworzą warstwę izolacyjną o grubości 35 cm.

Z zewnątrz na kostkach słomy położono listwy ze sklejki o grubości 8 mm i szerokości 8 cm, które na wysokości każdej warstwy kostek połączone są z wewnętrznymi łukami za pomocą pasów napinających. Przez napinanie pasów kostki słomy są nieco zagęszczane, połączone z konstrukcją, a kopuła jest usztywniona.

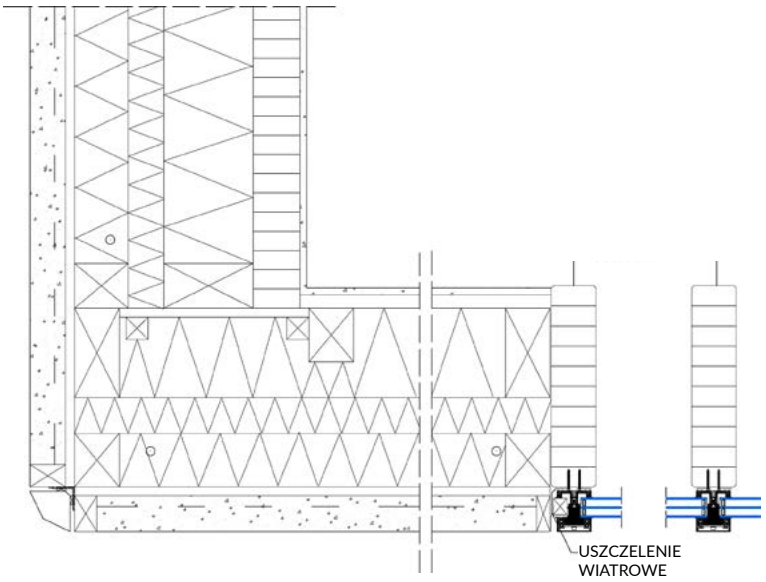
W obliczeniach statycznych wyraźnie zaznaczono, że tak sprężone kostki słomiane stanowią poziome usztywnienie kopuły. Ponieważ połączenia profili drewnianych należy traktować jako przeguby, dla bezpieczeństwa konstrukcji w dwóch przeciwległych miejscach umocowano krzyżujące się taśmy stalowe jako dodatkowe usztywnienie.

Dla zapewnienia ochrony przeciwpożarowej kostki słomy (z zewnątrz i od wewnątrz) opryskano płynną, tłustą obrzutką glinianą, która wnikała ok. 2 cm w głąb słomy. Na koniec naciągnięto na kopułę dokładnie pasującą powłokę dachową, przymocowano ją napinaczami do cokołu i lekko napięto.

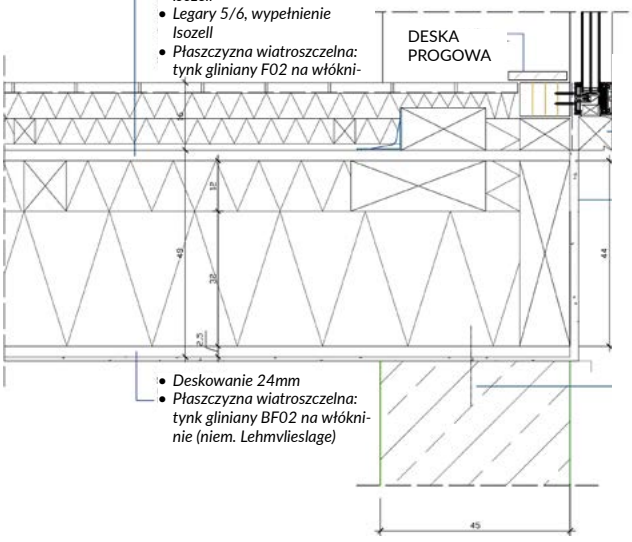
PROJEKT: GERNOT MINKE
PLAN WYKONAWCZY I ROBOTY ZWIĄZANE Z KOSTKAMI SŁOMY:
GERNOT MINKE I FRIEDEMANN MAHLKE
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 53 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2003 r.

Obiekt w Tattendorf jest budynkiem pasywnym, izolowanym słomą. Ściany składają się z wysokich na całą kondygnację, prefabrykowanych elementów o podwójnej (oddzielonej izolacją) słupowej konstrukcji drewnianej. Prefabrykaty były otynkowane gliną z obydwu stron. Podłogę i strop wykonano także z gotowych elementów, izolowanych kostkami słomy.

Wypełnienie kostkami słomy wykonano przy pomocy specjalnego urządzenia zagęszczającego. Prefabrykaty dostarczono



- *Podłoga z desek, przybijana gwoździami*
- *Podkład (niem. Baupapier)*
- *Legary 5/6, wypełnienie Isozell*
- *Legary 5/6, wypełnienie Isozell*
- *Płaszczyzna wiatroszczelna: tynk gliniany F02 na włókni-*



- *Deskowanie 24mm*
- *Płaszczyzna wiatroszczelna: tynk gliniany BF02 na włókninie (niem. Lehmvlieslage)*

22.25 Sklepienia mieszkalne w Tamera, Portugalia

tych lekkich materiałów umożliwiło redukcję bocznego nacisku na sklepienia. Powierzchnie czołowe budowli wyłożono kamieniem naturalnym, który pozyskano lokalnie z budowy drogi. Fasadę północną zbudowano

Powietrznoszczelną powierzchnię wykonano ze specjalnego, zbrojonego, drobnoziarnistego tynku glinianego. Szczelne złącza elementów uzyskano przez pokrycie ich włókniną „przyklejaną" szlamem glinianym. Budynek pokrywa zielony dach. Koncepcja energetyczna budowli odpowiada strategii budynku pasywnego: izolacja termiczna, elementy nieprzezroczyste i przezroczyste spełniają standardy domu pasywnego. Napływające do pomieszczeń powietrze jest przeprowadzone podziemnym kanałem, wstępnie podgrzewane lub chłodzone gruntowym wymiennikiem ciepła. Straty termiczne redukuje wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła. Rozprowadzenie powietrza odbywa się wewnątrz domu poprzez kształtki gliniane.

Pozostałego niezbędnego ciepła dostarczają najpierw kolektory fasadowe, a potem dodatkowe ogrzewanie bioetanolowe (które dodatkowo dostarcza niezbędnej wilgoci do pomieszczeń). Panele fotowoltaiczne umieszczone w południowej fasadzie co najmniej zaspokajają zapotrzebowanie na energię elektryczną, niezbędną dla urządzeń technicznych budynku. Dach wykonano tak, by mógł służyć jako miejsce lęgowe dla nietoperzy. Budynek jest zabezpieczony przed termitami.

PROJEKT: GEORG W. REINBERG, ROLAND MEINGAST
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 360 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2006 r.

Trzy mieszkalne sklepienia kolebkowe, które powstały w Wiosce Pokoju i Leczniczego Biotopu (niem. *Friedensdorf und Heilungsbiotop*) w miejscowości Tamera koło Colos, są pierwszymi sklepieniami nośnymi o takim kształcie wykonanymi z kostek słomy. Skośnie przycięte kostki ułożono w optymalną statycznie formę odwróconej krzywej łańcuchowej. Do przycinania kostek, które w każdym położeniu mają różne, skośne kształty, użyto urządzenia

opracowanego w Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego (niem. *Forschungslabor fur Experimentelles Bauen*, FEB) Uniwersytetu w Kassel. Kostki słomy układano bez zaprawy na ażurowym deskowaniu. Po ułożeniu ostatnich, górnych kostek, lekko sprężono sklepienie pasami. Po zdemontowaniu deskowania konstrukcja osiadła zaledwie o niecały centymetr. Kolebki otynkowano z zewnątrz dwu-, a od środka trzykrotnie tynkiem glinianym i pokryto zgrzewaną powłoką bitumiczną. Na wierzchu wykonano zielony dach z warstwą chudej ziemi o grubości 15 cm, obsiany tymiankiem, dzikimi ziołami oraz trawą.

Zagłębienia między kolebkami wypełniono pokrytymi zaprawą glinianą odpadami plastikowymi oraz odpadami korkowymi, które zebrano w pobliskich lasach, porośniętych dębami korkowymi. Zastosowanie

22.26. Budynek biurowy w Hrubý Šúr, Słowacja

kostek słomy układanych na rąb, a południową w większej części stanowi podwójne przeszklenie. Powierzchnie dookoła okien wykonano z bawełnianych węży wypełnionych gliną lekką. Węże podczas montażu mocowano zaostrzonymi prętami bambusowymi. Budynek jest w przeważającym stopniu pasywnie ogrzewany i jedynie zimą niezbędne jest dodatkowe ogrzewanie. W tym celu w strefie cokołu ułożono w tynku glinianym rurki z tworzywa sztucznego, w których płynie woda ogrzewana przez kolektory słoneczne. Okna umożliwiają poprzeczne wietrzenie i wykorzystywanie nocnego spadku temperatury latem. Latem zadaszenie tarasu przy wejściu zapobiega ogrzewaniu wnętrza promieniami słońca. Te trzy jednostki mieszkalne zbudowało w 3 tygodnie dwudziestu pięciu uczestników warsztatów z 10 różnych krajów.

Koszty materiałów i transportu wyniosły ok. 4300€ na jedno sklepienie. Ogrzewanie słoneczne kosztowało dodatkowo ok. 1200€ na jednostkę. Podczas trwania warsztatów przepracowano ok. 2000 roboczogodzin. Resztę robót wykonano w ciągu kolejnych 400 godzin.

PROJEKT: GERNOT MINKE
KIEROWNICTWO BUDOWY: BEATE MÖLLER, GERNOT MINKE
OPIEKA WARSZTATÓW: GERNOT MINKE, DITTMAR HECKEN, BENJAMIN KRICK, ALFONSO LIPARDI, PAUL WYSER
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2007 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA [illegible] m² + ZADASZENIE TARASU 5,5 m²

W niewielkiej miejscowości Hrubý Šúr, koło Senec powstała w roku 2010 pierwsza na świecie nośna kopuła z kostek słomy, otoczona ośmioma nośnymi sklepieniami z tego samego materiału. Budowlę pokrywa zielony dach.

Budynek posiada centralne, ośmiobocz-ne pomieszczenie, służące jako sala

22.26.1. URZĄDZENIE DO PRZYCINANIA KOSTEK SŁOMY
22.26.2. WYKONYWANIE SKLEPIEŃ KOLEBKOWYCH ZE SKOŚNIE PRZYCIĘTYCH KOSTEK, UKŁADANYCH NA AŻUROWYM DESKOWANIU
22.26.3, 22.26.4. MOCOWANIE KOSTEK DREWNIANYMI SZPILAMI

1

2

3

4

seminaryjna i wystawowa, z ośmioma niszami o powierzchni 4 m², przykrytymi sklepieniami. Nisze wykorzystywane są jako miejsca pracy biurowej i aneks kuchenny. Pomieszczenie środkowe przykrywa kopuła o średnicy w świetle 6,20 m, spoczywająca na ośmiokątnym wieńcu. Wieniec leży na ośmiu okrągłych słupach drewnianych, o średnicy 30 cm każdy.

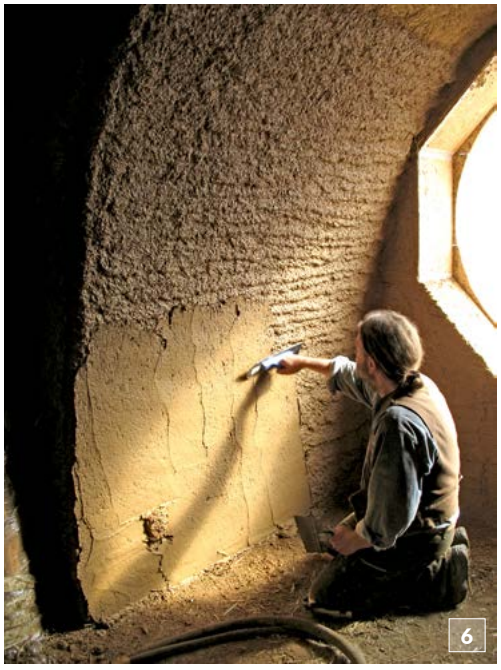
Kostki słomy o przekroju 36×48 cm przycinano skośnie z dwóch stron urządzeniem opracowanym w Laboratorium Budownictwa Eksperymentalnego (FEB) uniwersytetu w Kassel (zdjęcie 1). Aparat składa się z dwóch pił o specjalnie przygotowanych ostrzach, których nachylenie można regulować z dokładnością do 0,5 stopnia. W ten sposób możliwe jest wykonanie równych powierzchni, a kostki po ułożeniu (bez zaprawy) przylegają do siebie szczelnie, bez tworzenia się między nimi widocznych szczelin. Przy wznoszeniu kopuły należało kostkom dodatkowo nadać formę łuku. Podczas budowy sklepień kolebkowych kostki układano na ażurowym deskowaniu (zdjęcie 2). Przy wznoszeniu kopuły kostki nie wymagały stosowania szalunku. Aby zapewnić ich dokładne położenie i nachylenie, wykonano w FEB obrotowe ramię, które podtrzymywało kostki tak długo, aż zostały przymocowane do spodniej warstwy drewnianymi szpilami (zdjęcie 3).

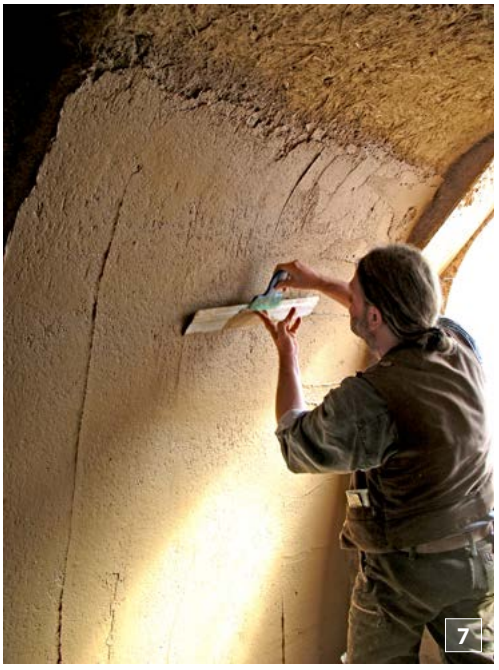
Sklepienia i kopułę zarówno od środka jak

5-7 TYNKOWANIE SKLEPIEŃ KOLEBKOWYCH
8 WYKONYWANIE UBIJANEJ PODŁOGI GLINIANEJ
9 NAPRAWA RYS SKURCZU

10 NAMIOT OCHRONNY W CZASIE BUDOWY
11 UKŁADANIE WORKÓW WYPEŁNIONYCH ZIEMIĄ
12 BUDYNEK W ZIMIE
13 ZAZIELENIENIE LATEM

5


6


7

8

9

i z zewnątrz pokryto trzywarstwowo tynkiem glinianym na grubość ok. 5 cm. Powstałe między sklepieniami wklęsłe „doliny" wypełniono kostkami słomy i workami ze szkłem spienionym w formie tłucznia.

Dach nakryto powłoką EPDM. Aby zapobiec osuwaniu się substratu, wsypano go do worków z włókna polietylenowego, które poukładano jeden na drugim i obsiano dziką trawą (zdjęcie 4).

Podłogę z ubitej gliny położono na warstwie tłucznia szkła piankowego o grubości 50 cm. Fasada ma 30-centymetrową izolację z płatków celulozy. Sklepienia (kostki słomy 36 cm, 2 razy po 5 cm tynku glinianego, 12 cm substrat oraz warstwa wegetacyjna) wykazują wartość współczynnika przenikania ciepła U = ok. 0,134 W/m²K.

Z uwagi na wypełnienie zagłębień, wartość U dla kopuły wynosi ok. 0,08 W/m²K.

Okna mają potrójne szklenie, a kopuła ze szkła akrylowego, która doświetla budowlę z góry, jest czterowarstwowa. Do ogrzania budynku przy zewnętrznej temperaturze –11°C niezbędne jest ogrzewanie o mocy jedynie 1600 W. Zassane świeże powietrze jest ogrzewane w wymienniku przez ciepło powietrza wywiewanego

PROJEKT: GERNOT MINKE
PROJEKT WYKONAWCZY: BJÖRN KIERULF, CREATERRA
KIEROWNICTWO WARSZTATÓW: GERNOT MINKE, PIERRE BORTNOWSKI, SAMUEL GROS, OLAF EGGERS, DITTMAR HECKEN, STEFAN OHNESORG, PAVEL PAKUZA
KIEROWNICTWO ROBÓT TYNKARSKICH: PIET KARLSTEDT
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2011 r.
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 62 m²

10

11

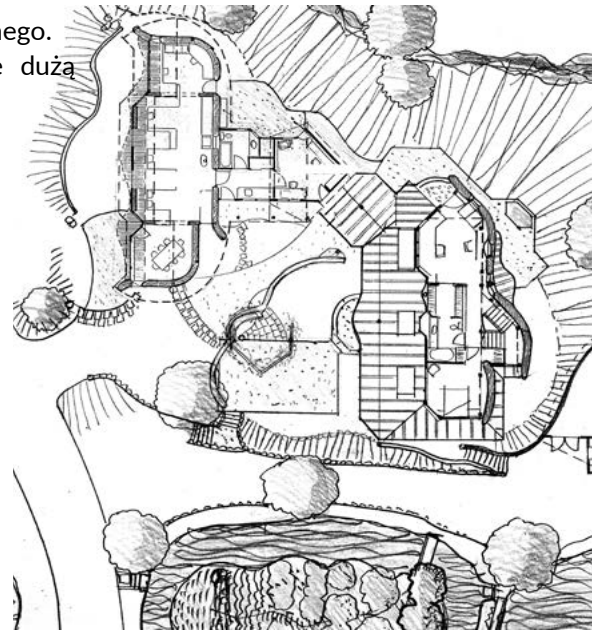
12

13

22.27 Trout Farm Complex, Tassaroja Canyon, Kalifornia, USA

Trout Farm jest siedzibą San Luis Sustainability, biura projektów, które zajmuje się od 1976 roku projektowaniem i wykonawstwem zarówno pojedynczych budynków, jak i większych kompleksów w nurcie budownictwa ekologicznego.

Grupa ta przywiązuje dużą



z pomieszczenia. Ogrzane świeże powietrze jest prowadzone do poszczególnych kolebek przez wieniec, który pełni dodatkowo funkcję kanału wentylacyjnego. Zużyte powietrze odprowadzane jest z niszy kuchennej przez wymiennik ciepła. Jako ogrzewanie awaryjne służy kabel grzejny o maksymalnej mocy 1900 W.

Podczas budowy dachu świadomie zrezygnowano z wewnętrznej paroizolacji, ponieważ założono, że zewnętrzna warstwa gliny przyjmie zimą wystarczającą ilość wody kondensacyjnej, która latem w formie pary wodnej przeniknie do środka pomieszczenia.

Dla kontroli wilgotności słomy zainstalowano czujniki w 12 różnych miejscach. Przekazują one co godzinę informacje o temperaturze i wilgotności do rejestratora danych. W środku kostek panuje zimą i latem temperatura 10°C i wilgotność powietrza 60%, co odpowiada wilgotności słomy ok. 10%.

Budowę zrealizowano w ciągu 2 sesji dwutygodniowych warsztatów, po uprzednim wykonaniu fundamentów i montażu przygotowanych wcześniej drewnianych elementów fasady. W przedsięwzięciu wzięło udział 40 osób z 14 krajów, pośród których było 15 fachowców zajmujących się budowaniem z kostek słomy lub z gliny. Zielony dach wykonano w terminie późniejszym, po zakończeniu robót.

22.28 Prototyp budownictwa socjalnego w Sentinela do Sul, Brazylia

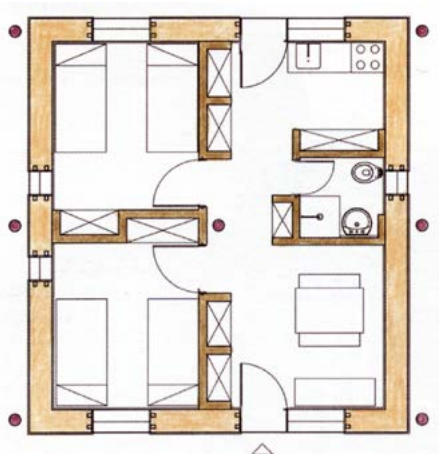
PROJEKT: GERNOT MINKE, MARCIO ROSA D'AVILA
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2005 r.
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 36 m²

wagę do interdyscyplinarnej współpracy z innymi organizacjami badawczymi.

Zespół obiektów składa się z biura projektów, budynku mieszkalnego i warsztatu. Budowle powstały w kilku etapach, w ciągu 8 lat. Prostota obróbki kostek słomy i łatwość nadawania im wymaganego kształtu były inspiracją do nadania budynkom formy odpowiadającej otoczeniu. Zaprojektowano więc nieregularną, połamaną strukturę budynków, co stanowi kontrast do typowych, równych i prostokątnych budowli. Budynki mają częściowo konstrukcję nośną z kostek słomy, a częściowo konstrukcję drewnianą, szkieletową wypełnioną ułożonymi na rąb kostkami słomy.

Dachy są z drewna krytego blachą. Dwa dachy mają izolację z celulozy, jeden z kostek słomianych, a jeden z *aircrete* – ekstremalnie lekkiego betonu komórkowego. Ściany pokrywa tynk gliniany. Ani nie posiadają one paroizolacji, ani też nie pokryto ich powłokami malarskimi. Duże okapy oraz drenaż chronią budynki przed deszczem i napływającą wodą.

PROJEKT: KEN HAGGARD, POLLY COOPER
ROBOTY ZWIĄZANE Z KOSTKAMI SŁOMY: SCOTT CLARK
ŚCIANY: CZĘŚCIOWO NOŚNE Z KOSTEK SŁOMY, CZĘŚCIOWO SZKIELET DREWNIANY, WYPEŁNIONY KOSTKAMI SŁOMY
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 1996 r. (BIURO), 1997 r. (BUDYNEK MIESZKALNY), 2002 r. (WARSZTAT)



22.29 Hala produkcyjna z biurem w Dunningen

POWIERZCHNIA MIESZKALNA / UŻYTKOWA: 327 m² (BIURO 140 m², CZĘŚĆ MIESZKALNA 140 m², WARSZTAT 47 m²)

Budynek powstał w ramach projektu badawczego, finansowanego przez Towarzystwo Współpracy Technicznej z Eschborn (niem. *Gesellschaft fur technische Zusammenarbeit*, GTZ). Przedsięwzięcie to obejmowało budowę w Brazylii trzech prototypowych domów z lokalnych materiałów. Rzut poziomy budynku odpowiada dyrektywom publicznego budownictwa mieszkaniowego. Dom zbudowano w prowincji Sentinela do Sul, w rejonie, w którym uprawia się ryż i dlatego ściany zewnętrzne wykonano z kostek

22.30 Budynek mieszkalno-szkoleniowy w Stollhof, Austria

technologia gliniano-włóknino-wa (niem. *Lehm-Vliestechnik*) zastąpiła typową paroizolację i gwarantowała (razem z tynkiem glinianym

słomy ryżowej. Kostki kładziono narąb, co dało grubość ściany 35 cm. Kostki z obu stron przytrzymują tyczki bambusowe. Do budowy ścian wewnętrznych użyto ręcznie formowanych z lokalnego materiału cegieł glinianych. Szkielet wykonano z okrągłych bali eukaliptusowych. Na okrągłych krokwiach położono cienkie rury bambusowe. Na konstrukcji leży folia polietylenowa, warstwa wyrównawcza z piasku i membrana z polietylenu wysokociśnieniowego. Zielony dach o grubości 15 cm składa się z warstwy chudego substratu i darni wyciętej z sąsiedniej łąki. Zapobiega to nadmiernemu ogrzewaniu domu przez silne promieniowanie słoneczne w okresie letnim.

Okna i drzwi wykonano w ten sposób, żeby wszystkie pomieszczenia można było wietrzyć poprzecznie. Koszty budowy były znacznie niższe niż koszty typowego budownictwa socjalnego.

Ściany zewnętrzne i dach zbudowano z wypełnionych słomą prefabrykowanych ram drewnianych. Kostki słomy od wewnątrz hali produkcyjnej przykryto płytami OSB i gipsowo-włóknowymi. Z zewnątrz położono trójwarstwowy tynk gliniany. Przed deszczem chroni go zadaszenie wystające 5 m poza lico budynku. Część biurową wykończono z zewnątrz wentylowanym deskowaniem drewnianym.

Zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzewania pomieszczeń i wody pokrywa ciepło wytwarzane przez maszyny w hali produkcyjnej.

PROJEKT: SHAKTI HAUS, KÖRNER & SCHÄBERLE
POWIERZCHNIA UŻYTKOWA: 500 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2009 r.
KOSZTY BUDOWY: 750€/m²

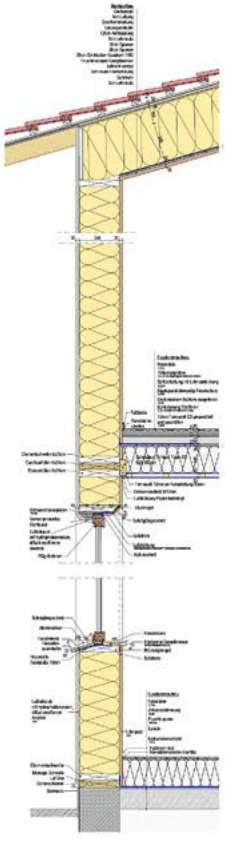
Dla tego budynku opracowano nowy system prefabrykatów. Ich elementem podstawowym był dwuteownik drewniany firmy Steico, wypełniony z obydwu stron słomą i przykryty otynkowanymi gliną płytami drewnianymi. Ponadto nowa

22.31 Budynek mieszkalny „Ważka” w Poppau-Siebenlinden

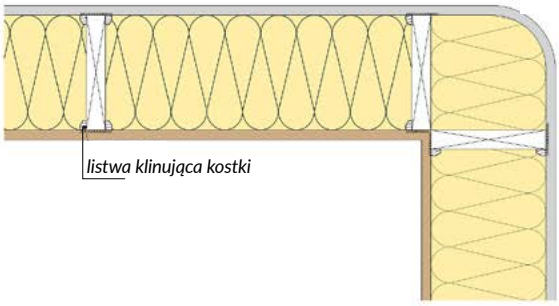
i pozostałą zabudowę domu wykonano z drewna. Okna z włóknami) szczelność powietrzną powierzchni budynku.

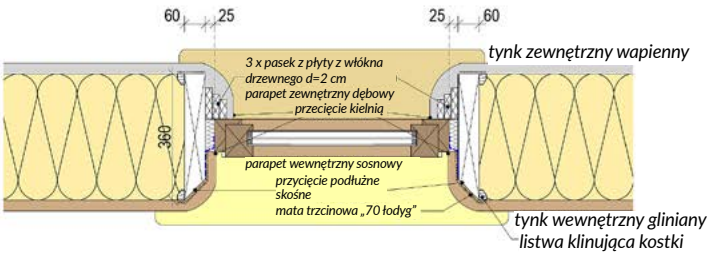
Te moduły glinianego domu pasywnego (niem. *Lehm-Passivhaus-Module*) mają wysokość całej kondygnacji i mogą być produkowane w wymiarach do 9 m.

W czasie montażu elementy są na stykach konwencjonalnie łączone śrubami, uszczelniane i pokrywane glino-włókniną. Wykończenie wewnętrzne ścian stanowi tynk gliniany. Płyta podłogowa i stropowa wykonana jest z podobnych prefabrykowanych elementów. Dodatkowo konstrukcję dachu pokrywa z zewnątrz ekstensywny zielony dach, obsiany trawą. Budynek posadowiono na betonowych ławach fundamentowych. Drzwi, okna, podłogi



• *kostki słomy w rogu ściany przycięte na wymiar 36 x 36 cm*



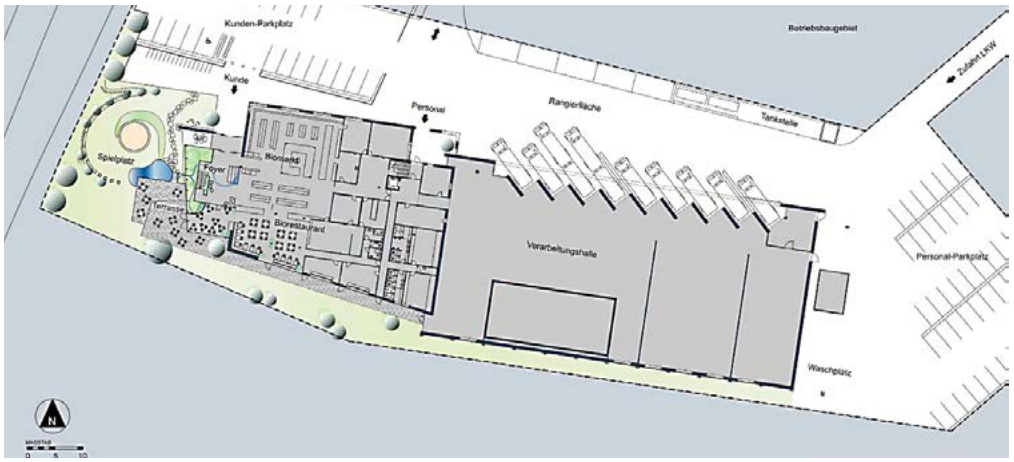


22.32 „Biohof" w Eferding, Austria

z powietrzem wewnątrz budynku i dzięki temu nie powstają

i drzwi mają konstrukcję drewniano-aluminiową i są szklone potrójnymi szybami izolacyjnymi.

Dobra izolacja i wysokiej jakości stolarka, razem z instalacją do odzysku ciepła i kontrolowanej wentylacji, minimalizują straty termiczne. Przeszklenia na południowej elewacji pozwalają na pasywne zyski energii słonecznej. Resztę zapotrzebowania na ciepło zapewnia piec opalany drewnem. Piec ten posiada zamknięty system napowietrzania, który nie ma kontaktu



22.33 Budynek mieszkalny w Seeheim

Ten obiekt, zaprojektowany jako budynek pasywny z dwoma mieszkaniami, jest niezależną dobudówką przy dwurodzinnym domu z lat 60-tych. Konstrukcją nośną jest drewniany szkielet usztywniony skośnymi zastrzałami. Ściany zewnętrzne, wykonane z leżących na rąb, wielkowymiarowych kostek słomy, o grubości 70 cm, wysokości 120 cm i długości do 260 cm, wykazują wartość współczynnika przenikania ciepła U = 0,08 W/m²K. Kostki, ważące do 300 kg, mocowano do nośnego szkieletu przy pomocy konstrukcji drabinowej po każdej warstwie. Kostki wiązano w elementy ścienne na „stole" własnej konstrukcji i przy pomocy dźwigu montowano w ścianie. Dach również obłożono dużymi kostkami słomy. Ściany od strony zewnętrznej pokryto płytami cementowo-włóknowymi, a od środka bezpośrednio tynkiem glinianym. Na dachu od południa położono kolektory próżniowe o powierzchni 16 m² oraz panele fotowoltaiczne o mocy 4,2 kW. Słoma pochodziła z pola uprawnego, odległego o ok. 1 km i transportowano ją bezpośrednio na budowę. Potrzebne kostki o wadze ok. 25t kosztowały razem z transportem ok. 2000€. Dla tej szczególnej konstrukcji konieczne było uzyskanie dopuszczenia do budowy dla pojedynczego przypadku, które kosztowało ok. 500€. Stropy wykonano z użyciem traconego szalunku z falistych płyt cementowo-włóknowych. W fałdach układano na przemian pręty zbrojeniowe i giętkie rury, po czym zalewano całość betonem. W ten sposób strop stał się jedną dużą powierzchnią grzewczą. Górne piętro, częściowo otwarte na poddasze, wyposażono w dodatkowe ogrzewanie ścienne. Nadmiar energii cieplnej z kolektorów słonecznych jest odprowadzany latem do wymiennika ciepła znajdującego się w ziemi pod budynkiem. Poziomy fartuch izolacyjny ze szkła piankowego redukuje straty ciepła. Jako ogrzewanie awaryjne przewidziano w każdym pomieszczeniu lampy gazowe, które zimą dają nie tylko przyjemne światło, ale również wystarczające i miłe ciepło. Wydalany bezpośrednio do mieszkania CO_2 jest niezawodnie transportowany na zewnątrz przez wentylację mechaniczną.

PROJEKT: BENJAMIN KRICK
POWIERZCHNIA MIESZKALNA: 56 m² NA DOLE, 75 m² NA GÓRZE

22.34 Pawilon szkoleniowy w Oensingen, Szwajcaria

ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2013 r.

otwartą przestrzeń.

PROJEKT: ATELIER WERNER SCHMIDT
OPRACOWANIE PROJEKTU: MICHAEL SCHNEIDER
POWIERZCHNIA WEWNĘTRZNA: 217 m²

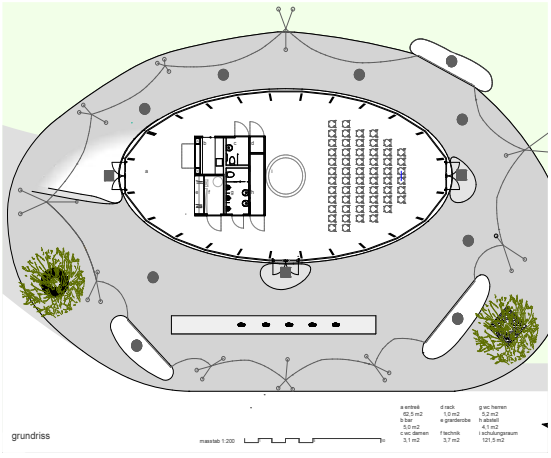
Pawilon o kształcie kopuły służy firmie vonRoll do przeprowadzania szkoleń i urządzania wystaw.

Kopułę tworzą 24 łukowate dźwigary z klejonego drewna, oparte u góry na wykonanym z tego samego materiału, ściskanym pierścieniu, który przykrywa kopulasty świetlik.

Konstrukcję drewnianą wypełniają kostki słomy. Całość z zewnątrz pokrywa tynk wapienny. Od środka przymocowano maty z wełny mineralnej o grubości 5 cm i w celu poprawienia izolacji dźwiękowej położono na nich tynk natryskowy z płatków bawełny oraz celulozy.

Dolna partia eliptycznego pomieszczenia jest otoczona ścianą o wysokości 2,5 m z trójwarstwowych elementów szklanych. Wewnątrz stoi prostopadłościan, wykonany z pomalowanych na czarno płyt MDF, w którego wnętrzu znajdują się sanitariaty, wnęka kuchenna i magazyn.

Jako ochrona przed wpływami atmosferycznymi służy zakrzywiony dach membranowy, przykrywający kopułę i otaczającą ją



BOURQUIN

BOURQUIN

SENN AG

22.35 Jules Ferry Résidence w St. Dié des Vosges, Francja

POWIERZCHNIA ZADASZONA: 812 m²
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2010 r.

PROJEKT: A. PAGNOUX, E. SCHMITT,

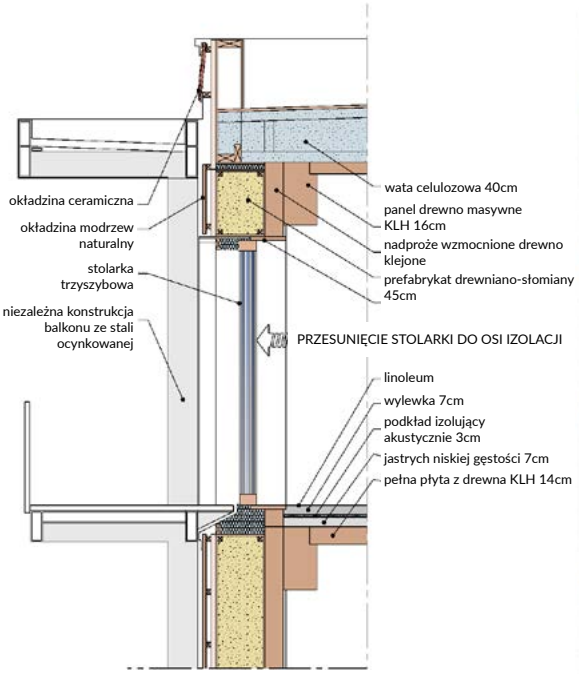
Projekt ten obejmował dwa budynki, jeden trzy-, a drugi siedmiokondygnacyjny, z 26 mieszkaniami socjalnymi o powierzchni 70 lub 90 m² . Konstrukcję nośną stanowią masywne panele z drewna klejonego krzyżowo. Za dodatkową izolację służą montowane na zewnątrz skrzynie drewniane o wymiarach 250×125×40 cm, wypełnione kostkami słomy. Kostki słomy posiadają gęstość 135 kg/m³. Ściągające je pasy poprzecinano po włożeniu kostek do skrzyń, aby szczelnie docisnęły się do ścian. Na zewnątrz od elementów drewnianych zamontowano wentylowaną fasadę z płyt ceramicznych. Izolację dachu grubą na 40 cm wykonano z płatków celulozy.

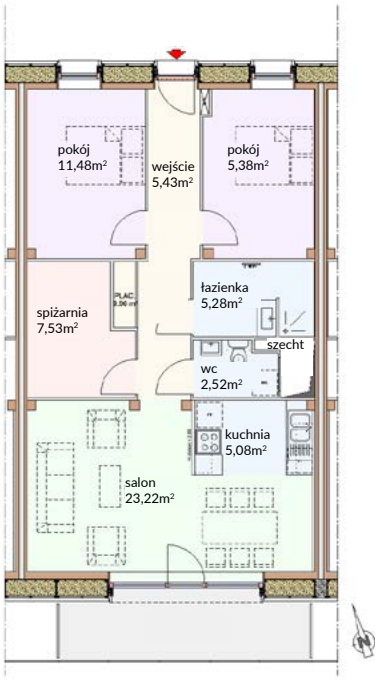
Koncepcja energetyczna budowli przewidywała pasywne pozyskiwanie energii słonecznej przez fasadę południową, aktywne wykorzystanie energii solarnej poprzez kolektory o powierzchni ponad 50 m² oraz zastosowanie 12 sond geotermalnych i kontrolowanej, mechanicznej wentylacji z wymiennikiem ciepła. Budynki uzyskały standard domów pasywnych. Prawdopodobne koszty energii potrzebnej w ciągu roku dla mieszkania o powierzchni 90 m² wyliczono na 132€.

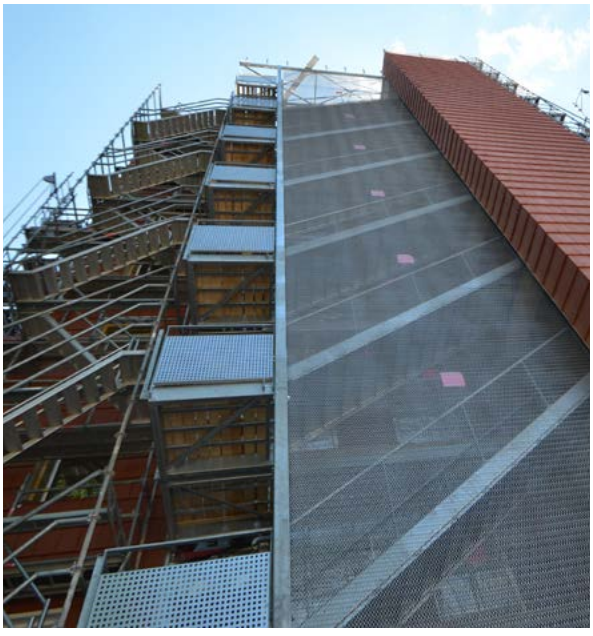
Do bilansu CO_2 wzięto pod uwagę następujące dane: 600 m³ kostek słomy magazynuje 200 ton CO_2, a 1000 m³ drewna 1000 ton CO_2. Tym wartościom przeciwstawiono emisję jedynie 100 ton CO_{2eq} dla betonu, stali i szkła.

Te wyliczenia nie uwzględniają jednakże emisji CO_{2eq} przy obróbce, cięciu, klejeniu i transporcie elementów drewnianych o szacunkowej wartości 500 ton CO_{2eq}, co niestety zdarza się często przy takich kalkulacjach.

Także przyjęta dla 600 m³ kostek słomy wartość 200 zmagazynowanych ton CO_2 wydaje się za duża. Realny szacunek to raczej ok. 120 ton CO_2 (por. rozdz. 5.1).



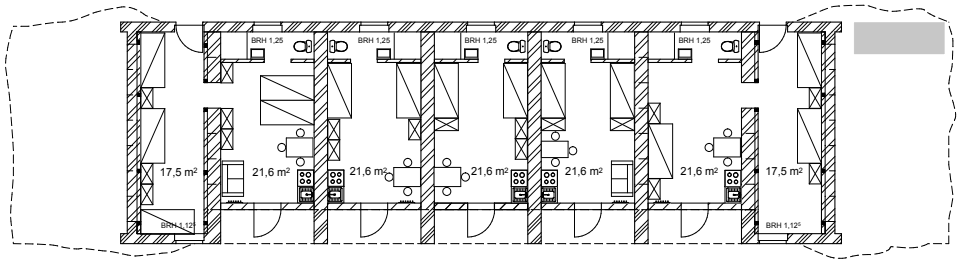




22.36 Budynek mieszkalny ze sklepieniami w Buchberg-Wangelin

ASP ARCHITECTURE
KONCEPT ENERGETYCZNY: VINCENT PIERRÉ, TERRANERGIE
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2013 R.

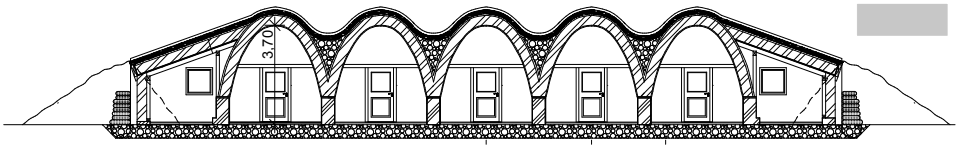
Budynek służy stowarzyszeniu FAL e.V. i Europejskiemu Centrum Edukacji Budownictwa z Gliny (niem. *Europäische Bildungsstätte für Lehmbau*) jako miejsca noclegowe dla uczestników i wykładowców podczas seminariów. Obiekt ten ma być przykładem przyjaznego środowisku budownictwa z naturalnych materiałów, które może być także korzystne finansowo, w przypadku znacznego udziału pracy własnej. Budowa była wspomagana finansowo z Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich (niem. ELER). Budynek jest pierwszym w Niemczech obiektem z nośnymi sklepieniami



RZUT

ściana z betonu komórkowego
kostki słomy na cokole z betonu komórkowego
ściana z gliny

0 1 2 3 4 5



PRZEKRÓJ

kostki słomy na cokole z betonu
ściana z gliny
substrakt zielony dach
Ściana z betonu
granulat ze szkła piankowego

0 1 2 3 4 5

kolebkowymi z kostek słomy, na który uzyskano urzędowe pozwolenie na budowę. Jako fundament położono 50-centymetrową, zagęszczoną warstwę ze szkła piankowego w formie tłucznia. Podłoże to stanowiło zarówno izolację termiczną, jak i przerwę kapilarną. Sklepienia wykonano ze skośnie przyciętych kostek słomy, układanych bez zaprawy na ażurowym deskowaniu i sprężanych pasami napinającymi. Po usunięciu pasów nie stwierdzono żadnego osiadania sklepień. Kolebki pokryto od środka i na zewnątrz trójwarstwowym tynkiem glinianym. Zielony dach składa się z odpornej na przebicie korzeniami powłoki dachowej i lekkiego substratu o grubości 12 cm, porośniętego dzikimi trawami i ziołami.

Podczas budowy kostki słomy wykazywały wilgotność 15%. Tynk zewnętrzny o grubości 6-8 cm zapewnia, że punkt rosy (także

zimą, przy 40% względnej wilgotności powietrza wewnątrz) znajduje się zawsze w warstwie gliny, a nigdy w słomie. Trzecią warstwę tynku wewnętrznego, służącą jako paroizolacja, wykonano z dodatkiem 6% pokostu lnianego. Wilgotność w sklepieniach kontroluje 12 sensorów, umieszczonych w różnych miejscach i w różnym położeniu. Cięcie (zdjęcie 22.36.3), montaż (22.36.6) i sprężanie wstępne kostek słomy (22.36.7), a także naniesienie pierwszej warstwy tynku glinianego (zdjęcie 22.36.8), wykonanie podłogi z ubijanej gliny (22.36.10) i jednej sypialni z węży bawełnianych wypełnionych gliną lekką (zdjęcia 22.36.12 do 22.36.14), zrealizowano w ramach dwóch jednotygodniowych, międzynarodowych warsztatów.

PROJEKT: GERNOT MINKE, TOBIAS WEYHE
ZAKOŃCZENIE BUDOWY: 2013 r.

23. PERSPEKTYWY

Zalety budowania z kostek słomy są łatwe do zauważenia. Kostki słomy są materiałem przyjaznym środowisku, ponieważ powstają z surowca pochodzenia roślinnego i – na czas ich wykorzystywania – wiążą dwutlenek węgla. Budynki z kostek słomy mogą być realizowane w korzystnych cenach, ponieważ sama produkcja kostek jest niedroga, a materiał sprzyja budowaniu „własnymi rękami". Ponadto słoma jest wyróżniającym się materiałem izolacyjnym, z którego przy właściwym planowaniu i realizacji można tworzyć budynki o standardzie domów pasywnych. Możliwe jest więc budowanie domów zdrowych, oszczędnych energetycznie i przystępnych cenowo. Dzięki pozytywnym wynikom testów ogniowych oraz istniejącym wynikom badań izolacyjności termicznej i ochrony przed hałasem, a także dzięki zapowiedzianej na rok 2014 aprobacie technicznej dla słomy jako izolacji cieplnej ścian zewnętrznych, pozwolenia na budowę będzie można uzyskać znacznie prościej i szybciej. Wtedy też nic nie będzie stało na przeszkodzie rozpowszechnienia się tej prostej metody budowania. Należy mieć nadzieję, że konstrukcje nośne z kostek słomy znajdą szerszą akceptację także w Niemczech, jak stało się to już w wielu innych krajach Europy. W ostatnich latach w Niemczech zrealizowano ponad 250 budynków z kostek słomy, a wiele następnych jest planowanych.

To oznacza, że – jak to niedawno było w Austrii, a teraz jest we Francji – tutaj także nadejdzie boom na budownictwo z kostek słomy.

Widoczny stał się przede wszystkim trend do prefabrykowania elementów ściennych i stropowych izolowanych słomą. Dzięki temu uległa znacznej redukcji zależność od pogody podczas montażu.

Ponadto zauważalny jest fakt budowania coraz większej ilości domów pasywnych z kostek słomy.

Obie cechy, tj. stosunkowo proste prefabrykowanie elementów izolowanych słomą i możliwość budowania w tej technologii domów pasywnych, spowodują dalszy rozwój budownictwa z tytułowego materiału.

24. ADRESY INTERNETOWE, ORGANIZACJE I KONTAKTY

USA
Magazyn *The Last Straw*
www.thelaststraw.org *
Ogólnoświatowa lista mailingowa
www.sustainablesources.com/gsbn

Europa
European Straw Bale Gathering
www.esbg2015.eu *
Międzynarodowy program *Straw Leonardo*
www.strawleonardo.eu

Niemcy
Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.
www.fasba.de

Austria
Österreichisches Netzwerk für Strohballenbau ASBN
www.baubiologie.at/asbn

Holandia
Strobouw Nederland
www.strobouw.nl

Belgia
www.casalida.be *

Skandynawia
Norsk Jord-og halmbyggerforening NJH
www.naturligbyggeri.no

Wielka Brytania
www.strawbale-building.co.uk*
www.strawworks.co.uk *

Dania
Lars Keller
www.brenderuphojskole.dk

Słowacja
ArTUR-Sustainable Architecture
www.ozartur.sk

Francja
www.rfcp.fr *
www.lamaisonenpaille.com

Hiszpania
RCP. Red de Construccion con Paja
www.casadepaja.org

Polska
Ogólnopolskie Stowarzyszenie Budownictwa Naturalnego
www.osbn.pl *

* linki oznaczone gwiazdką zostały z konieczności zaktualizowane lub dostosowane w polskim wydaniu przez redakcję

25. BIBLIOGRAFIA

AbZ 2006 – Deutsches Institut für Bautechnik (2006): *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung* Z-23.11-1595 *Wärmedämmstoff aus Strohballen Baustrohballen*. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.

Büermann, Martin (1999): *Mähdrescher-untersuchungen, Einflüsse auf die Korn-abscheidung der Wendetrommel nachgeschalteter Abscheidetrommeln*. In: LANDTECHNIK 1/1999. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.

Bühring, J. (o.J.): *Putz und Farbe an Fachwerkbauten.* In: Historische Fachwerkstädte in Hessen und Niedersachsen (Hrsg.): Arbeitsgruppe Bautechnik, H.3.

Danielewicz, I.; Reinschmidt, J. (2008): *Lastversuche mit großen Quaderballen an der Hochschule Magdeburg-Stendal* V. 2a

Doolittle, B. (1973): *A Round House of Straw Bales. Mother Earth News* 19:52-57.

Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (FASBA) (Hrsg) (2008): *Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise – Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance. Endbericht des durch die DBU unterstützten Forschungsvorhabens.* DBU Az. 22430.

Feist, Wolfgang (2001): *Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser. Verlag Das Beispiel.*

Grandsaert, M.F. (1999): *A Compression Test of Plastered Straw-Bale Walls.* University of Colorado at Boulder, USA.

GrAT (2001): Wimmer, R.; Hohensinner, H.; Janisch, L.; Drack, M.: *Wandsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen. Wirtschafts-bezogene Grundlagenstudie.* Endbericht, Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) an der Technischen Universität Wien im Auftrag des Bundesministeriums für Innovation und Technologie.

Gratz, Werner (1988): *Ställe für die individuelle Tierhaltung*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin; 2. Auflage

Gruber, Santler (2012): *Neues Bauen mit Stroh. ökobuch Verlag*, Staufen, 4. Auflage

Jones, Barbara (2011): *Building with Straw Bales Grenn Books*, U.K.

King, Bruce (Hrsg.) (2006): *Design of Straw Bale Buildings, The State of The Art*. Green Building Press, San Rafael, CA, USA.

Köhler/Klingele (Hrsg.) (1995): *Baustoffdaten – Ökoinventare*. Ohne Verlag

Krick, Benjamin (2008): *Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise*. Dissertation, Fachbereich Architektur Stadt- und Landschaftsplanung, Universität Kassel, kassel university press.

Kunze, R. F. (1987): *Lexikon der Landtechnik, Getreide- und Halmfrucht-ernte*. Vogel Fachbuchverlag, Würzburg

Lacinski, Bergeron (2000): *Serious Straw Bale – A Home Construction Guide for all Climates*. Chelsea Green Publishing, Vermont/Totnes.

Magwood, Mack (2000): *Straw Bale Building*, New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Kanada.

Mc Elderry, W. & C. (1979): *Happyness in a Hay House*. Mother Earth News 58:40-43

Minke, Gernot (4. Auflage 2010): *Dächer begrünen, Einfach und wirkungsvoll*. ökobuch Verlag, Staufen

Minke, Gernot: (8. Auflage 2012): *Handbuch Lehmbau*. ökobuch Verlag, Staufen

Minke Gernot (3rd. edition 2013) *Building with Earth*. Birkhäuser, Basel

Pfleiderer, J. (2000): Bauen mit Ballen aus Stroh: Kritische Hinterfragung eines neuen/alten Baustoffes. Diplomarbeit Hildesheim

Rijven, Tom (2008): *Between Earth and Straw*. Athée, Frankreich

Schmidt, Werner (2003): *Strohballendruckversuche*. Atelier Werner Schmidt, Trun, Schweiz

Sedlbauer, Klaus (2001): *Vorhersage von Schimmelpilzbilung auf und in Bauteilen*. Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Stuttgart, Dissertation.

Smith, Dan (2003): *Creep in Bale Walls*. DAS Architects Berkeley.

Steen et. al. (1994): *The Straw Bale House*. Chelsea Green Publishing, Vermont/ Totnes.

Strang, G. (1983): *Straw Bale Studio*. Fine Home Building, 12/83:70-72.

Wedig, H. (1999): *GUS-Staaten*, in: Stroh im Kopf. 1/1999, Xanten

Wehlte, K. (1985): *Werkstoffe und Techniken der Malerei*. Ravensburg, 5. Auflage.

Weiss, A. (1963): *Angewandte Chemie* 75. S. 755-762.

Welsch, R. L. (1970): *Sandhill Baled Hay Construction*. Keystone Folklore Quarterly, Spring Issue: 16-34.

Wihan, J. (2007): *Humidity in Straw Bale Walls and its Effect on the Decomposition of Straw*. Thesis University of East London

Wimmer, R.; Hohensinner, H.; Drack, M. (2006): *S-House, Innovative Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel eines Büro- und Ausstellungsgebäudes*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien / Österreich

Zhang, John Q.; Fine, Michael (2005): *Preliminary Discussion of Bale on Edge Wall Test*. Universoty of Western Sydney. Australia

26. INDEKS OBRAZÓW

Ambrosius, B.: str. 88-89 (22.2)
Architekturburo Reinberg: 2.21; str. 126-127 (22.24); str. 138-139 (22.30)
Architekten fur Nachhaltiges Bauen: rysunki str. 110-111 (22.14)
ASP Architecture: str. 148-149 (22.35)
Atelier Werner Schmidt: 1.1; 8.4; str. 98-99 (22.7); str. 106-107 (22.12); str. 110-111 (22.15)
Bechter, Georg, Architektur + Design: str. 102-103 (22.10)
Biohof Achleitner: Seite 142-143 (22.32)
Blöchl, Wolfgang: 12.9; 21.11
Claas: 3.1; 3.6
Dalmeijer, Rene: 2.24; str. 116 (22.17)
de Bouter, A.: 2.6
Degouda, Lucia: str. 146-147 (22.34)
EDGE Architects: str. 118 (22.19)
Eisenberg, David: 2.1; 2.3
Erz und Gugl: str. 93-94 (22.4)
Fahnert, Manfred: str. 132 (22.26)
Frick, F.: 2.16; 9.3
Fuchs, Friederike: 1.5 - 1.8; str. 120-121 (22.21)
GrAT: 17.2
Gruber, Santler: Neues Bauen mit Lehm: 2.8; 2.20
Hecken, Dittmar: zdjęcia str. 111 (22.14)
Heizmann, Oliver.: 8.9; 8.10
Henselmans, J.: 2.4
Jones, Barbara: 1.2; 8.2; str. 114-115 (22.16)
Kracht, Stefan: str. 94-95 (22.5)
Krick, Benjamin: 1.3; 1.4; 2.23; 3.3; 3.4; 3.5; 3.7; 4.1 - 4.3; 4.6; 4.8; 4.9; 5.2; 5.3; 6.1 - 6.8; 7.1; 8.1; 8.6; 8.7; 9.5; 9.9; 12.3; 12.23; 12.24 - 12.26; str. 144-145 (22.33)
Lacinski, Bergeron, 2000: 3.2
Lautenbach, Katja: 12.37; 12.38; 12.41
Mahlke, Friedemann: 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 10.1; 10.2; 10.3; 12.1; 12.2; 12.8; 12.10; 12.11-12.22; 12.24-12.26; 12.29-12.35; 12.37; 12.38; 12.41-12.48; 17.1; 21.1; 21.5; str. 117 (22.18); str 125, górny rząd, środkowe po prawej, dolne po lewej (22.23)
Marinica, D.: Seite 122-123 (22.22)
Millies, Frank: 21.6; 21.7
Minke, Gernot: 2.7; 2.10; 2.11; 2.12; 2.13; 2.14; 2.18; 2.17; 2.19; 4.13; 4.14; 9.1; 9.2; 9.4; 9.6; 9.7; 9.8; 12.4;12.5; 12.6; 12.7; 12.28; 12.44-12.50; 13.1; 14.1; 21.2-21.4; 21.8-21.10; 21.12-21.22; str. 85-87(22.1); str. 101 (22.9) po lewej na dole; str. 119 (22.20); 115 (22.22); str 127 środkowe po lewej i w centrum, dolne po lewej (22.23); str 128-130 (22.25); str 136 (22.28); str 140-141 (22.31); str 150-151 (22.36)
Quedlinburger Architekturkonzepte: rysunki str. 150
San Louis Sustainability Group: str. 134-135 (22.27)
Scharmer, Dirk: str. 91 (22.3); str. 92 (22.8) na dole; strona 101 (22.9) rysunek; Seite 141 (22.31)
Scheicher, Georg: 2.21; str 104-105 (22.11)
Schmelz & Partner : str. 100 (22.8); str. 108/109 (22.13)
Schneider: str. 137 (22.29)
Shakti Haus (Korner Schaberle): str. 94-95 (22.5), str. 137 (22.29)
Weber, Peter: 2.13; 8.3;
Welger: 3.3

27. INDEKS TERMINÓW

alergia na pył 11
aprobata techniczna – *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung* 9, 22, 76

budowa dachu 48, 86, 88
budowla eksperymentalna o ścianach przenoszących obciążenia 15, 85
budowla eksperymentalna Uniwersytetu Kassel 85
Budowlane Kostki Słomy – *Baustrohbalen* 76
budynek o ścianach nośnych z kostek słomy 85, 112, 114, 134

czas budowy 75

deformacja 35, 39
deskowania 39, 73
dodatkowe zagęszczanie 78
dom pasywny 10, 40, 88, 92, 104, 108, 122
dopuszczenie do zastosowania 9, 76
drzwi 60
dwuteownik 34, 48, 51, 53, 55, 57, 59
dzielenie kostek 79

erozja w wyniku działania deszczu 67

farby klejowe 71
fundamenty 43, 52, 54
fundamenty punktowe 54, 85, 104

gęstość 10, 19, 23, 31, 35, 37, 43, 51, 78, 87
gliniany dom pasywny (niem. *Lehmpassivhaus*) 17, 126
górne zakończenie ściany 38, 59
grzyby pleśniowe 11, 27, 28, 69, 71

higrometr 21, 27, 28
higroskopijność 26
historia 12
hydrofobizacja 72

izolacja dachu 48
izolacja podłogi 50
izolacja termiczna 10, 22, 24, 34, 41, 50, 62,
izolacja z kostek słomy 10, 22, 24, 34, 41, 50
izolacja zewnętrzna z kostek słomy 44, 104, 144
izotermy sorpcji 26, 28

kinkiety 63
klasy odporności ogniowej 10, 31, 77
konstrukcja ściany 41, 51, 53, 81
konstrukcje cokołu 25, 54
konstrukcje dachowe 48, 52
konstrukcje fundamentu i cokołu 43, 52, 54
konstrukcje sklepień 46, 129, 131, 150
kopuła z kostek słomy 17, 47, 124, 131
kostki „Jumbo” 98, 112
kostki słomy 1-153
kostki słomy w środowisku wilgotnym 25
koszty budowy 73
kształt słupów 53, 56
kształtowanie kostek 79

łączenie kostek słomy 57, 79, 81, 86

listwa przypodłogowa 62

magazynowanie 18
mieszkalne sklepienia 46, 128
młócenie 18
moduł odkształcalności liniowej 35
mostki termiczne 24, 41, 48, 54, 55, 61, 81

naprężenia styczne 39
narożniki ścian 58
niebezpieczeństwo pożaru 11, 31
nienośny sposób budowania 44, 53, 56
nośne sklepienie kolebkowe z kostek słomy 16, 128, 150
nośniki tynku 64,
nośny sposób budowania 41, 51

ochrona przeciwdeszczowa 80
ochrona przeciwpożarowa 64, 73, 76, 77
ochrona przed hałasem 30
ochrona przed odpryskującą wodą deszczową 55
ochrona przed wilgocią 25, 50
ochrona przed wpływami atmosferycznymi 25, 29, 70
odporność na trzęsienie ziemi 14, 39
odporność ogniowa 10, 32, 64
odpowiednie konstrukcje 29
okna 60
opór dyfuzji pary wodnej 26, 65

ościeże 60
PEI 32, 34
pełzanie 37
podłoże z tynku glinianego 56
pojemność cieplna 23, 24
połączenie ścian z dachem 61
połączenie z podłogą 54
ponowne sprężanie 83
powłoka boraksowa-kazeinowa 71
powłoka kazeinowa 71
powłoka wapienna 70
powłoka wapienno-kazeinowa 71
powłoki malarskie 70
powłoki silikatowe 71
powłoki z kredy malarskiej 71
powstawanie grzybów pleśniowych 27
pozwolenie na budowę 76
prasy do słomy 19
prasowanie kostek prostopadłościennych 19
produkcja kostek słomy 18
produkt stosowany w budownictwie 76
projektowanie konstrukcji nośnych 35
prowadzenie instalacji 62
przebieg budowy 77
przekazywanie obciążeń 38
przewodność cieplna 10, 22, 24
przyjazny środowisku sposób budowania 9

relaksacja naprężeń 37
reguły wytwarzania mocno sprasowanych kostek 21
rodzaje słomy 18

ściany nienośne z kostek słomy 44, 53, 56
ściany nośne z kostek słomy 41, 51
ściany wewnętrzne 61
ścieranie 67, 71
S-House 16, 44, 73, 104
siły poziome 39, 43
sklepienie z kostek słomy 15, 29, 46, 128, 131, 150
smukłość 35, 42, 51, 87
sprawdzanie jakości kostek 77
sprężanie wstępne 43, 81
śruba do słomy 73
stabilizacja ściany 81
stabilizowane tynki gliniane 64, 66
stabilizowane powłoki wapienne 71
strop na belkach drewnianych 62
strop z desek ułożonych warstwowo 62
stropy między kondygnacjami 62
„strzyżenie” ścian 20, 84
systemy konstrukcji ścian 41
szczelność powietrzna 40, 60, 64, 138

technika „French dip” 84
termity 11
transport 78
trwałość domów z kostek słomy 10
tynk cementowy 26, 64, 65
tynk gipsowy 65
tynk gliniany 64, 66
tynki wapienne 68
tynki wewnętrzne 64
tynki zewnętrzne 66

ubezpieczenie budynku 75
udział własny 74
urządzenie do cięcia 47
usztywnienie 56, 58, 82

wapno trasowe 68
warianty sprężeń wstępnych 42, 43
warstwa izolacji zewnętrznej 44, 104, 144
warstwa tynku 44, 65, 68, 73, 77, 84
wieńce 48, 59
wilgotność 25
właściwości fizyczne 22
wnęki 63
woda kondensacyjna, tworzenie się 26, 30, 55, 62
wskaźnik izolacyjności akustycznej 31
współczynnik oporu dyfuzji pary wodnej μ 10, 28, 72
współczynnik przewodności cieplnej 10, 40, 48
współczynnik przenikania ciepła U 22, 34, 40, 57
wyboczenie 35
wybrzuszenia 51, 56, 59, 84, 87
wykres naprężeń i wyboczeń 36
wymiary kostek słomy 19
wypełnianie nierówności 84
wyrównywanie lica ściany 20, 84

zagęszczanie kostek 21, 78
zakończenia tynku 69